

전기비저항 모니터링 방법을 이용한 충적층 지하수위 변동 감지 Detection of Groundwater Table Changes in Alluvium Using Electrical Resistivity Monitoring Method

김형수 (Kim, Hyoung - Soo)

한국수자원공사 수자원연구소

요약 / ABSTRACT

전기비저항 모니터링을 이용하여 충적층 지하수위의 변동을 감지 할 수 있는지의 여부가 연구되었다. 연구는 유한요소법을 이용한 전기비저항 수치 모델링 시험과 20일간의 장기 양수 시험이 수행된 금강 정동리 지역의 현장 자료를 이용하여 수행되었다. 수치 모델링 시험 및 현장 자료 획득은 전극 기본 간격이 4m인 21개의 고정전극을 이용하였으며, 전극 배열은 "변형 웨너 배열"과 쌍극자 배열을 이용하였다. 현장 장기 양수 시험에서 관측된 수위 변화를 단순화하여 지하 2차원 비저항 모델로 사용한 결과, 겹보기 전기비저항의 변화 양상은 수위 변화보다 둔감한 변화 양상을 보여 주며, 수위 변화가 있는 부분뿐만 아니라 하부 결정질 기반암의 경계 부위에 해당되는 심도에서도 겹보기 비저항치가 변화하는 현상이 관측되었다. 이러한 수치 결과와 부합되는 결과가 실제 현장에서 획득된 겹보기 전기 비저항 단면에서도 나타났다. 수치 계산 결과 및 현장 자료는 전기 비저항 모니터링이 지하수위 변동을 유무를 감지하는데 유용하게 사용될 수 있음을 보여주었다. 그러나 겹보기 전기비저항 단면이 수위 변동량을 정량적으로 규명할 만큼의 뚜렷한 변화를 보여주지는 못하기 때문에 전기비저항 방법만으로 정량적인 수위 변동량을 감지하는 데는 한계가 있는 것으로 판단된다. 이러한 지하 수위 변동량 등을 명확히 규명하기 위해서는 고해상도 탄성과 또는 지하레이다 탐사처럼 지하의 모습을 영상화 할 수 있는 지구물리 탐사법이 병행되는 것이 바람직하다.

Electrical resistivity monitoring methods were adopted to detect groundwater table change in alluvium. Numerical modelling test using finite element method(FEM) and field resistivity monitoring were conducted in the study. The field monitoring data were acquired in the alluvium deposit site in Jeong-Dong Ri, Geum River where pumping test had been conducted continuously for 20 days to make artificial changes of groundwater table. The unit distance of the electrode array was 4m and 21 fixed electrodes were applied in numerical calculation and field data acquisition. "Modified Wenner" and dipole-dipole array configurations were used in the study. The models used in two-dimensional numerical test were designed on the basis of the simplifying geological model of the alluvium in Jeong

Dong Ri, Geum River. Numerical test results show that the apparent resistivity pseudosections were changed in the vicinity of the portion where groundwater table was changed. Furthermore, there are some apparent resistivity changes in the boundary between aquifer and crystalline basement rock which overlays the aquifer. The field monitoring data also give similar results which were observed in numerical tests. From the numerical test using FEM and field resistivity monitoring observations in alluvium site of Geum River, the electrical monitoring method is proved to be a useful tool for detecting groundwater behavior including groundwater table change. There are some limitations, however, in the application of the resistivity method only because the change of groundwater table does not give enough variations in the apparent resistivity pseudosections to estimate the amount of groundwater table change. For the improved detection of groundwater table changes, it is desirable to combine the resistivity method with other geophysical methods that reveal the underground image such as high-resolution seismic and/or ground penetrating radar surveys.

서 언

전기비저항 탐사법은 지하수와 관련된 연구에 과거로부터 널리 사용되고 있는 지구물리 조사법의 하나이다. 전기비저항 탐사법은, 궁극적으로 지하 매질의 전기비저항 변화에 따른 전위 변화를 감지하는 것으로 지하수가 지하 매질 전기비저항 변화에 매우 큰 영향을 미치므로 지하수와 관련된 연구에 매우 유용하게 사용되어져 오고 있다. 본 연구는 지하수위 변동에 따른 겉보기 전기비저항치의 변화를 수치적인 계산과 현장 자료를 통해 검토하여 전기 비저항 모니터링이 충적층의 지하수의 변동을 감지하는데 유용한지의 여부를 밝혀내는데 연구 목적이 있다. 전기비저항 탐사는 배열법에 따라 다른 겉보기 비저항치를 보여주므로 본 연구에서는 등간격으로 고정된 위치에 설치된 고정 전극을 이용한 배열이 사용되었다. 본 연구의 수치 계산은 2차원 유한요소법을 이용하여 수행되었으며, 현장 자료는 금강 정동리 일대에서 수행된 장기 양수 시험 전후 및 시험 기간중에 획득된 모니터링 자료가 이용되었다.

수치 모델링

충적층에서의 강제적인 지하 수위 변화 또는 다른 이유로 급작스럽게 야기 되는 지하수위 변화에 의한 전기비저항 탐사 결과의 변화를 수치 모델링을 통하여 검토하였다. 수치 모델은 2차원 지하 비

저항 모델을 만들어 수행되었다. 양수 시험등에 의한 강제적인 수위 강하는 실제로 3차원적인 수위 강하 형태를 보일 것이나 수치계산의 복잡성 및 지층 구조 모델의 설정에 어려움등을 고려하여 2차원 지하 모델로 간주하였다. 이때 2차원 지하 비저항 모델은, 실제 금강 정동리 지역에서 획득된 시추 및 지질조사 자료와 현장에서 획득된 전기탐사 자료를 해석하여 얻어낸 결과를 토대로 본 지역을 대표하는 단순화된 2차원적인 형태를 취하였다. 또한 수치계산에 사용된 2차원 전극배열은 현장에서 수행된 2차원 전극배열과 동일한 방식이 이용되어 현장자료와의 비교가 가능하도록 설정되었다. 2차원 비저항 모델링은 유한요소법(Becker et al., 1981)이 이용되었으며, 수치계산 프로그램은 Kim(1994)에 의해 개발된 포트란 프로그램이 사용되었다.

기본적인 지하 비저항 모델은 3개의 지층으로 이루어져 있는 것으로 가정되었다. 현장에서 획득된 자료를 토대로 대수층은 심도 8m에서 24m까지, 전기비저항치 50ohm-m로 설정되었으며, 그 상부에 200ohm-m의 불포화층과 그 하부에 결정질 기반암인 1000ohm-m의 비저항치를 갖는 층이 존재하는 형태의 모델이 설정되었다. 즉 이러한 형태의 지하 비저항 모델을 인위적인 지하수위 변동이 없는 경우의 기본 모델로 가정하였다. 기본적인 전기비저항 지하 모델은 Fig.1-a에 보여진다. 실제 계산에 사용된 유한요소의 격자망은 경계에서의 오차를 최소화 하기 위하여 수평 방향으로는 중심에 대하여 양쪽으로 7,000m까지 모형이 연장되며, 수직 깊이

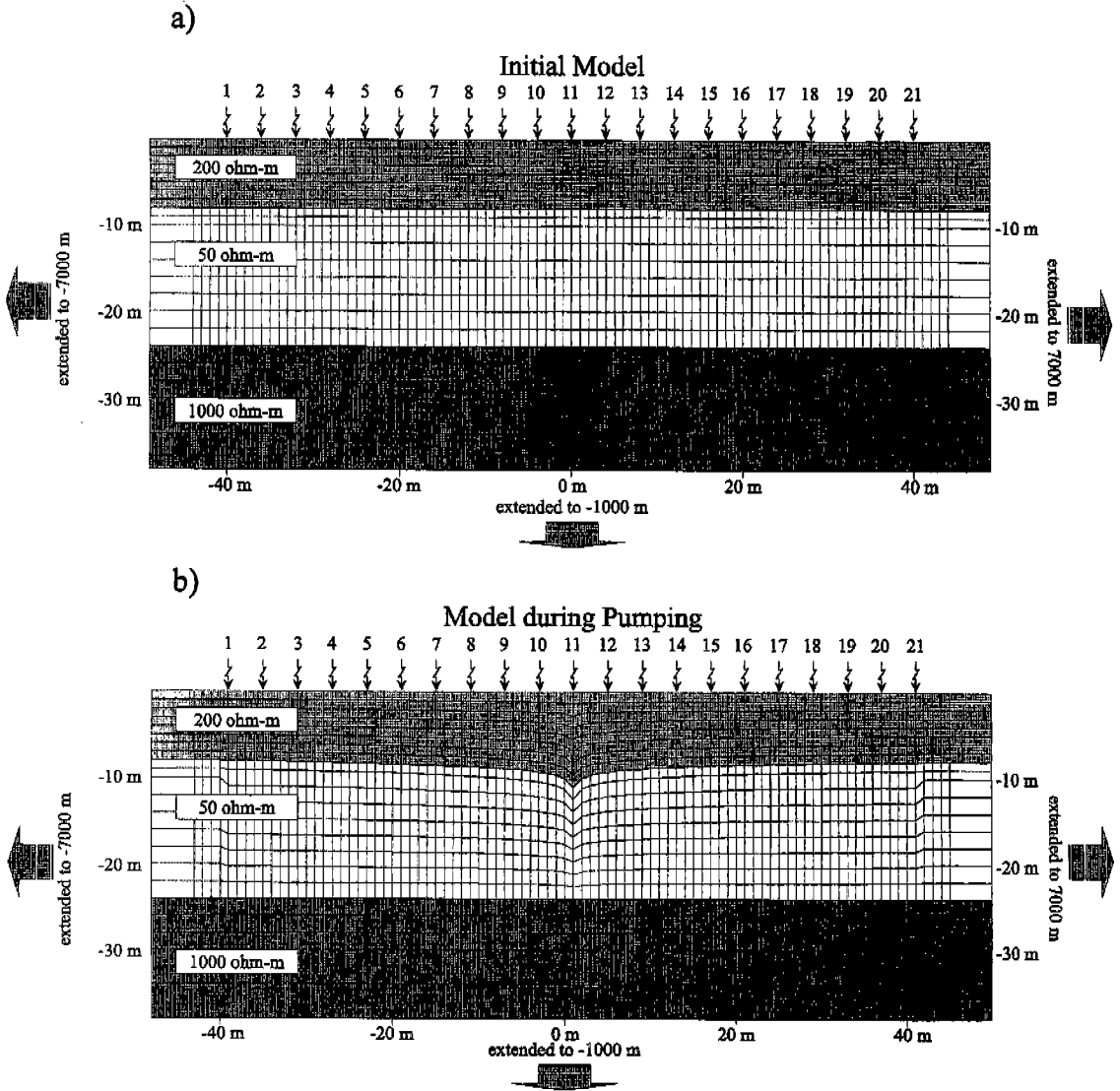


Fig. 1. Finite element mesh model used in this study. The models were designed on the basis of the geological model in alluvium along Geum River. The boundaries of the model are extended enough to ignore boundary effects in the numerical calculations.

- a) Finite element mesh model of the Initial condition, showing no drawdown.
- b) Finite element mesh model during artificial pumping. Drawdown values of groundwater are given in Table 1.

방향으로도 심도 1,000m까지 연장된다. 강제적인 양수시험에 의해 변형된 지하 비저항 모델은 Fig. 1-b에 주어져 있으며, 대수층과 상부의 불포화층의 경계는 금강지역 정동 지구에서의 양수시험시에 관

측된 수위강하량을 참조하여 설정되었다 (한국수자원공사, 1996a, 한국수자원공사, 1996b). 비저항 모델에 사용된, 양수 시험에 따른 대수층의 변화를 보여주는 지하수위강하량은 Table 1과 같다.

Table 1. Drawdown values of Groundwater table using a numerical testing model. The values are based on the pumping test results for the field site, Jeong-Dong Ri, Geum River.

양수정부터의 거리 (m)				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
지하수위 강하량 (m)				3.0	2.0	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

수치 계산에 사용된 기본 전극 간격은 4m 이며, 21개의 고정된 위치에 전극이 접지되어 이들 전극의 적절한 조합을 통한 자료 획득이 수행된 것으로 간주되었다. 이러한 고정 전극 배열은 실제 현장 자료 획득시에도 동일하게 적용되어 수치 계산 결과와 비교 할 수 있도록 하였다. 본 연구에서의 이들 고정 전극들의 조합 방식은 크게 3가지 방식으로 나누어 진다. 첫 번째 방식은 기본적으로 Wenner 배열이나 Schlumberger 배열처럼 내부에 전위 전극이, 외부에 전류 전극이 배열되는 방식으로 전위 전극의 중심에 대해 전류 전극을 대칭적으로 접지시키는 방식을 취하였다. 이 방식에 의한 전류전극 (양극 C1, 음극 C2로 표시)과 전위전극 (양극 P1, 음극 P2로 표시)의 조합은 Table 2-a와 같다. 이때 Table 2에서의 전극 번호는 Fig. 1에 주어진 고정 전극의 위치를 나타낸다. 본 연구에서는 이 배열을 “변형 Wenner 방식”이라 명명하였으며, 관측된 저항치는 기하학적인 보정을 통해 겉보기 비저항치로 환산되어 수평적으로는 전류 전극의 중심, 수직적으로는 전류 전극 거리의 절반에 해당되는 심도에 표현되는 방식을 취하였다. 두 번째 방식은 쌍극자 배열 방법으로 쌍극자 거리를 4m로 하여 4회의 쌍극자 이동을 하는 방법으로 이 경우의 전극의 배열은 Table 2-b에 보여지며, 본 연구에서 이 배열은 4m 쌍극자 방식이라 이름하였다. 유사한 방법으로 쌍극자 거리를 8m로 한 경우는 8m 쌍극자 방식으로 이에 대한 배열은 Table 2-c에 주어진다. 위의 두가지 쌍극자 배열에 대한 겉보기 비저항치의 표시 방법은 일반적인 쌍극자 배열법에서 사용하는 겉보기 비저항치 도시법이 이용

되었다. 이처럼 쌍극자 배열의 경우 두가지 방식으로 나누어 자료가 획득된 것은 4m 쌍극자 열은 지표면하 10m 이내에서의 비저항치 변화를 자세하게 관찰하기 위해서였다.

Fig.2는 지하수위 변동 이전과 양수 시험을 통해 강제적인 지하수위 강하가 이루어졌을 때 계산된 변형 Wenner 방식 전기탐사의 겉보기 비저항치 값

Table 2. Electrode array configurations used in this study.

a) Electrode array configuration of modified Wenner configuration.

C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2
1	4	2	3	3	12	7	8	9	12	10	11	11	14	12	13	10	19	14	15
2	5	3	4	2	13	7	8	8	13	10	11	10	15	12	13	9	20	14	15
1	6	3	4	1	14	7	8	7	14	10	11	9	16	12	13	8	21	14	15
3	6	4	5	7	10	8	9	6	15	10	11	8	17	12	13	14	17	15	16
2	7	4	5	6	11	8	9	5	16	10	11	7	18	12	13	13	18	15	16
1	8	4	5	5	12	8	9	4	17	10	11	6	19	12	13	12	19	15	16
4	7	5	6	4	13	8	9	3	18	10	11	5	20	12	13	11	20	15	16
3	8	5	6	3	14	8	9	2	19	10	11	4	21	12	13	10	21	15	16
2	9	5	6	2	15	8	9	1	20	10	11	12	15	13	14	15	18	16	17
1	10	5	6	1	16	8	9	10	13	11	12	11	16	13	14	14	19	16	17
5	8	6	7	8	11	9	10	9	14	11	12	10	17	13	14	13	20	16	17
4	9	6	7	7	12	9	10	8	15	11	12	9	18	13	14	12	21	16	17
3	10	6	7	6	13	9	10	7	16	11	12	8	19	13	14	16	19	17	18
2	11	6	7	5	14	9	10	6	17	11	12	7	20	13	14	15	20	17	18
1	12	6	7	4	15	9	10	5	18	11	12	6	21	13	14	14	21	17	18
6	9	7	8	3	16	9	10	4	19	11	12	13	16	14	15	17	20	18	19
5	10	7	8	2	17	9	10	3	20	11	12	12	17	14	15	16	21	18	19
4	11	7	8	1	18	9	10	2	21	11	12	11	18	14	15	18	21	19	20

Table 2. b) Electrode array configuration of 4m_dipole - dipole configuration.

C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2
3	4	1	2	9	10	6	7	17	18	12	13
4	5	1	2	8	9	6	7	16	17	12	13
5	6	1	2	9	10	7	8	15	16	12	13
6	7	1	2	10	11	7	8	14	15	12	13
7	8	2	3	11	12	7	8	15	16	13	14
6	7	2	3	12	13	7	8	16	17	13	14
5	6	2	3	13	14	8	9	17	18	13	14
4	5	2	3	12	13	8	9	18	19	13	14
5	6	3	4	11	12	8	9	19	20	14	15
6	7	3	4	10	11	8	9	18	19	14	15
7	8	3	4	11	12	9	10	17	18	14	15
8	9	3	4	12	13	9	10	16	17	14	15
9	10	4	5	13	14	9	10	17	18	15	16
8	9	4	5	14	15	9	10	18	19	15	16
7	8	4	5	15	16	10	11	19	20	15	16
6	7	4	5	14	15	10	11	20	21	15	16
7	8	5	6	13	14	10	11	20	21	16	17
8	9	5	6	12	13	10	11	19	20	16	17
9	10	5	6	13	14	11	12	18	19	16	17
10	11	5	6	14	15	11	12	19	20	17	18
11	12	6	7	15	16	11	12	20	21	17	18
10	11	6	7	16	17	11	12	20	21	18	19

Table 2. c) Electrode array configuration of 8m_dipole - dipole configuration.

C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2	C1	C2	P1	P2
7	5	3	1	13	11	5	3	15	13	9	7
9	7	3	1	11	9	5	3	13	11	9	7
11	9	3	1	9	7	5	3	15	13	11	9
13	11	3	1	11	9	7	5	17	15	11	9
15	13	3	1	13	11	7	5	19	17	11	9
17	15	3	1	15	13	7	5	21	19	11	9
19	17	3	1	17	15	7	5	21	19	13	11
21	19	3	1	19	17	7	5	19	17	13	11
21	19	5	3	21	19	7	5	17	15	13	11
19	17	5	3	21	19	9	7	19	17	13	15
17	15	5	3	19	17	9	7	21	19	13	15
15	13	5	3	17	15	9	7	21	19	15	17

을 보여준다. Fig.2에서 볼 수 있듯이 비저항치가 지하수위의 변화 모양을 반영한 형태, 즉 중심에서 오목한 비저항치 경계 형태를 보여준다. 수위 강하가 이루어졌을 때의 변형 Wenner 배열의 겉보기 비저항치 150ohm-m 등수치선은 중심에서 약 2 내지 3m 정도의 하향하는 현상을 보여주고 있으며, 130ohm-m 전후의 비저항치가 양수 시험 수행전에는 심도 20m 보다 천부에 존재하는 반면, 양수시험으로 지하수위의 변동이 있는 후에는 20m 보다 심부에서 나타나는 현상이 관찰되었다. 또한 실제로 지하 비저항치의 변화가 없는 대수층과 하부 기반암과의 경계부위를 반영하게 되는 심도 25내지 35m에서, 겉보기 비저항치가 지하수위 변동후 다소 증가하여 나타났다. 그러나 본 배열에서, 겉보기 비

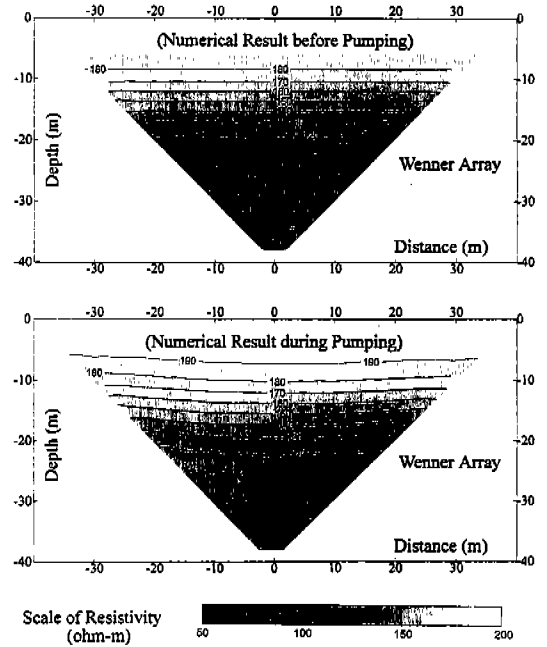


Fig. 2. Apparent resistivity pseudosection from the numerical model tests using modified Wenner array configuration. The upper part of the figure shows the apparent resistivity pseudosection before artificial pumping and the lower one shows the section during the pumping.

저항치의 변화만으로 지하수위의 변동양이나 수위 경계부를 명확히 구분하기는 어려운 것으로 판단된다.

Fig. 3은 지하수위 변화에 따른 4m 쌍극자배열 및 8m 쌍극자배열 탐사의 겹보기 비저항치 변화 형태를 보여준다. 4m 쌍극자배열을 이용한 전기 탐사는, 지표로부터 10m 이내의 심도에서 나타나는 심도 변화를 집중적으로 관측하기 위한 자료를 제공하며, 8m 쌍극자 배열 전기탐사는 지하 심도 약 35m까지의 전반적인 양상을 관측할 수 있는 자료를 제공한다. 4m 쌍극자배열 전기탐사의 겹보기 비저항치는 중심부에서, 양수전에 비해 양수후

180ohm-m의 비저항치를 보이는 영역이 약 2m 정도 심부로 오목해지는 현상을 보여준다. 이것은 기존 지표하 8m에 형성되어 있던 지하수위가 양수후, 양수정 부위에서 11m까지 수위강하된 현상을 반영한다. 8m 쌍극자 배열 겹보기 비저항치는 양수전과 양수후에 지하수위 변동을 뚜렷하게 구분시켜 보여주지는 못하지만 전술한 변형 Wenner 방식과 유사하게 150ohm-m 비저항치 값이 양수정을 중심으로 위로 오목한 형태를 보여주고 있다. 또한 8m 쌍극자 배열을 이용한 탐사 결과에서는, 100ohm-m 이하 영역의 상하부 경계의 폭이 양수하기 전에 비해, 양수시험이 수행된후 뚜렷이 좁아지는 형태를 보여주고 있어 하부기반암과의 경계에서도 겹보기 비저항치 변화가 나타나는 것으로 관찰되었다.

현장 전기비저항 모니터링

현장 모니터링 자료는 행정상으로 충남 부여군 부여읍 정동리 지역으로 금강변에 위치한 전형적인 하상퇴적층 지역에서 획득되었다. 이 지역은 금강의 하류와 중류의 경계부에 해당되는 지역으로 유로가 거의 완만하게 발달하고 있어 단순한 형태를 보여주고 있다. 본 조사 지역에서는 1개의 양수정(PW-1)과 4개의 관측공(BH1-1,2,3,4)이 총적층의 수리 특성과 지질 특성을 규명하기 위하여 시추되었다(Fig. 4 참조). 이들 시추 자료에 의하면, 지표에서부터 심도 3 내지 4m까지는 세립질 혹은 중립질 모래층이 존재하며, 그 하부에 두께 약 4 내지 6m의 실트질 모래 혹은 점토질 실트층이 존재함을 보여주고 있다. 그 하부는 다시 약 2.5 내지 3.5m의 중립질 혹은 조립질의 모래층이 존재하며, 그 하부에는 자갈과 모래가 섞인 층이 풍화를 받은 기반암의 상부까지 나타난다. 풍화를 받은 기반암의 심도는 지표에서부터 약 24m 내외의 값을 갖는다. 주대수층을 이루는 기반암 상부의 자갈섞인 모래층의 총후는 약 11m 내외이며, 자갈의 직경은 상부에서는 보통 2 내지 5cm 정도의 적은 값을 보이며, 하부로 갈수록 5 내지 12cm의 큰 값을 보인다. 시추공에서 관측된 지하수위는 보통 지표면하 7내지 8m에 형성되어 있으나, BH1-1 관측공에서는 특이하게 지표하 2.6m에 지하수위가 있는 것으로 관찰되

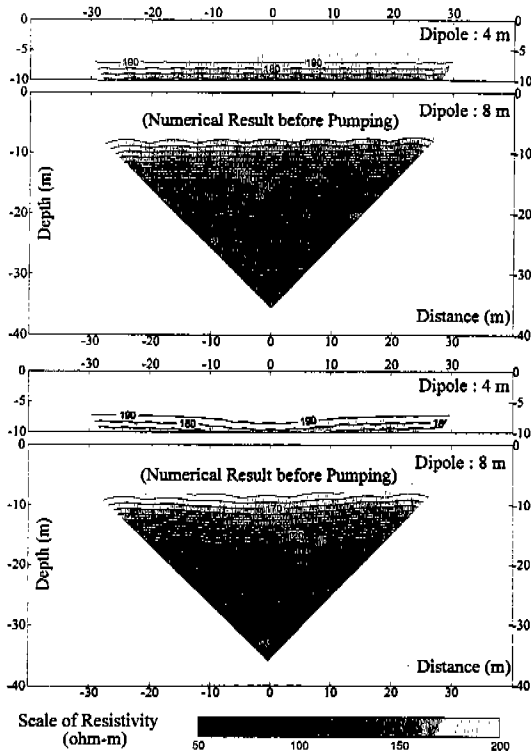


Fig. 3. Apparent resistivity pseudosections from the numerical model tests using 4m_ and 8m_dipole-dipole array configurations. The upper part of the figure shows the apparent resistivity pseudosection before artificial pumping and the lower one shows the section during the pumping.

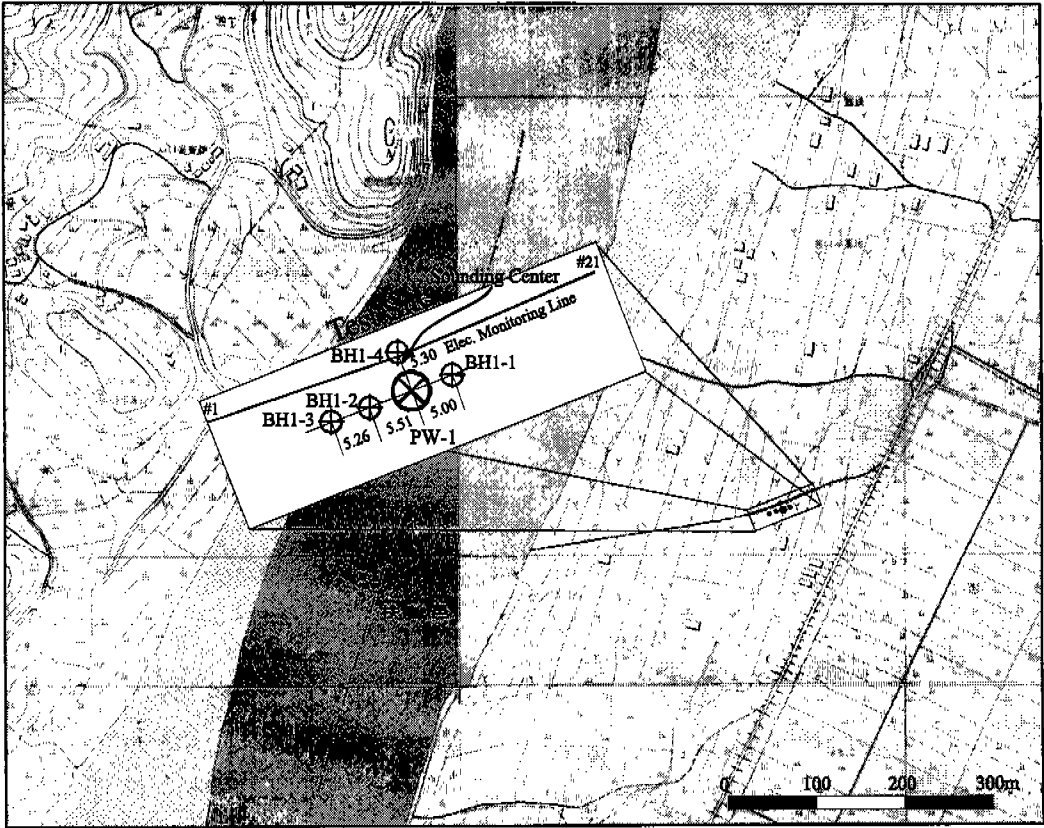


Fig. 4. Field site map of Jeong-Dong Ri, Geum River. This figure shows the distributions. The pumping well represented by PW-1, and observation wells are represented by BH1-1, BH1-2, BH1-3 and BH1-4.

어 부분적으로 수평적인 지층형성이 되어 있지 않은 부분도 있는 것으로 사료된다(한국수자원공사, 1996b). 본 정동 지구의 대수층의 두께는 약 15m에 해당된다.

지하수위의 변동을 주기위한 양수 시험은 1996년 10월 17일부터 11월 6일까지 20일만에 걸쳐 연속적으로 수행되었다. 양수 시험이 수행되는 동안의 일일평균양수량은 1,520m³이었다. Fig. 5는 양수 시험시에 양수정과 주변 관측정에서 관측된 수위강하량을 보여 준다. 관측자료에서 볼 수 있듯이 대부분의 수위강하는 장기 양수 시험 초기에 집중적으로 나타나며, 시간이 경과한 후에는 수위의 변화가 거의 나타나지 않고 평형 상태를 유지하는 것을 볼 수 있다.

현장에서의 전기 비저항 모니터링 관측은 총 8회에 걸쳐 수행되었다. 이중 양수 시험이 수행되기 전에 획득된 자료는 9월 11일 및 10월 9일의 자료이며, 양수 시험 개시일에는 시험시작 1시간 전 및 후에 자료가 획득되었다. 양수 시험이 수행되는 동안에는 10월 18일 및 10월 28일 2회에 걸쳐 자료가 획득되었으며, 양수 시험 종료일인 11월 6일에는 양수 시험 개시일과 마찬가지로 종료 1시간 전후 시각에 전기비저항 모니터링 자료가 획득되었다.

장기 양수 시험이 수행되기 이전에 수행된 9월 11일 및 10월 9일자 전기 탐사 모니터링 자료의 결보기 비저항치 자료는 Fig. 6에 보여진다. 9월 11일과 10월 9일의 결보기 비저항치 결과는 10m 이하의 지하에서의 전기비저항치 변화는 거의 없는

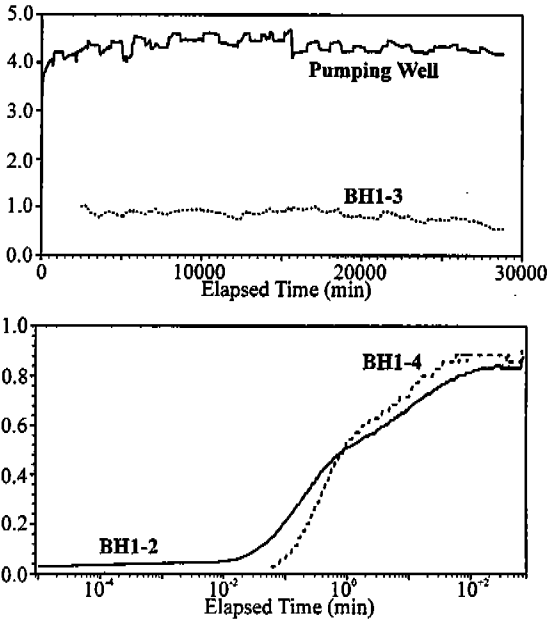


Fig. 5. Time-drawdown plots of groundwater table during the pumping test. The upper part of the figure shows the time-drawdown plot of pumping well and observation well, BH1-3 using linear time scale. The lower shows the time-drawdown plots of observation wells, BH1-2 and 1-4 using logarithm time scale. The drawdown unit is meter.

것으로 나타나지만 지표 부위에서는 다소의 비저항치 변화가 있음을 4m 간격 쌍극자 탐사도에서 관찰 할 수 있다.

장기 양수시험 시작 1시간 전후에 획득된 전기 탐사 모니터링 결과는 Fig. 7에 주어진다. 4m 쌍극자 배열의 겔보기 전기비저항 단면에서는 양수 시험 시작 직전 자료에 비해, 직후 자료의 150ohm-m 비저항치가 양수정 부위에서 약 2m 내외로 하강한 형태를 보여주고 있다. 이러한 결과는 수치계산 결과에서 180ohm-m의 전기 비저항치가 양수정 부위에서 약 2m 하강하는 현상과 매우 유사한 결과이다. 8m 간격 쌍극자 배열 및 변형 Wenner 배열을 이용한 전기 탐사 결과는 150ohm-m 이하에 해당되는 전기비저항치 영역의 두께가 감소하는 현상을

보이기는 하지만 그 변화량은 크지 않다.

장기 양수 시험이 시작된 후 1일 및 10일후의 전기탐사 모니터링 자료에 의한 겔보기비저항치는 Fig. 8에 보여진다. 4m 간격 쌍극자 자료의 경우 장기 양수시험 시작전, 양수정 부위 약 8m 심도에서 나타나던 150ohm-m 이하의 전기비저항치가 10일후 자료(10월 28일 자료)에서는 나타나지 않으며, 8m 쌍극자 배열 및 변형 Wenner 배열을 이용해 획득된 겔보기 전기비저항치 결과 모두, 양수 시험이 진행됨에 따라 150ohm-m 이하의 저비저항대의 영역이 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 저비저항대의 감소 현상은 수치 계산 결과에서 보여준 저비저항대 영역의 감소 현상과 매우 잘 일치된다.

장기 양수시험이 종료되던 11월 6일 관측된 전기탐사 모니터링 자료의 겔보기비저항 결과는 Fig. 9에 보여진다. 본 모니터링 자료는 장기 양수시험이 종료되기 1시간전 자료와 양수시험이 종료된 후 1시간 지난 시기에 획득된 자료이다. 4m 간격 쌍극자 자료는 지표 부위에서의 비저항치 변화가, 장기 양수시험 종료 전후에 거의 없음을 보여주어 장기 양수시험 시작 전후에 양수정 부위 심도 8m 지점에서 나타나던 150ohm-m의 전기비저항치의 변화와는 다소 다른 결과를 보여주고 있는 점이 흥미롭다. 이러한 결과는 양수시험 종료후 지하수위의 상승효과가 양수시험 시작시에 나타나던 지하수위 하강 현상 보다 더디게 나타남으로 해서 발생하는 현상으로 추정된다. 8m 간격 쌍극자 탐사와 변형 Wenner 방식 배열 자료는 양수시험 종료 직전과 직후에 150ohm-m 이하의 비저항치 영역이 다소 증가하는 현상을 보여주고 있으며, 그 변화량은 양수시험 시작 전후에 관찰되었던 것처럼 크지 않다.

결론 및 의견

본 연구는 전기비저항 모니터링 방법이 층적층 지하수위 변화 추정에 유용한 도구로 활용될 수 있음을 보여준다. 즉, 본 연구에서 계산된 전기비저항 수치 모델링의 결과와 현장에서 획득된 전기비저항 모니터링자료는 전기비저항 모니터링 방법이 층적층의 지하수위 변동을 간접적으로 추정할 수 있는

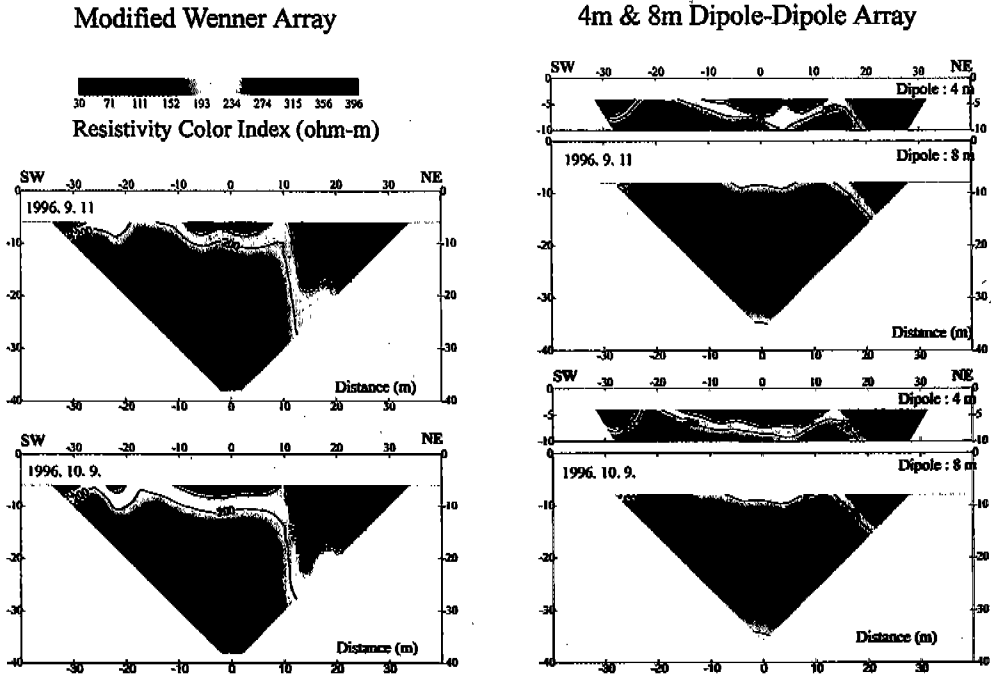


Fig. 6. Apparent resistivity pseudosections acquired from field site, Jeong-Dong Ri, Geum River before pumping test. Measurement date and array configurations are captioned in figures.

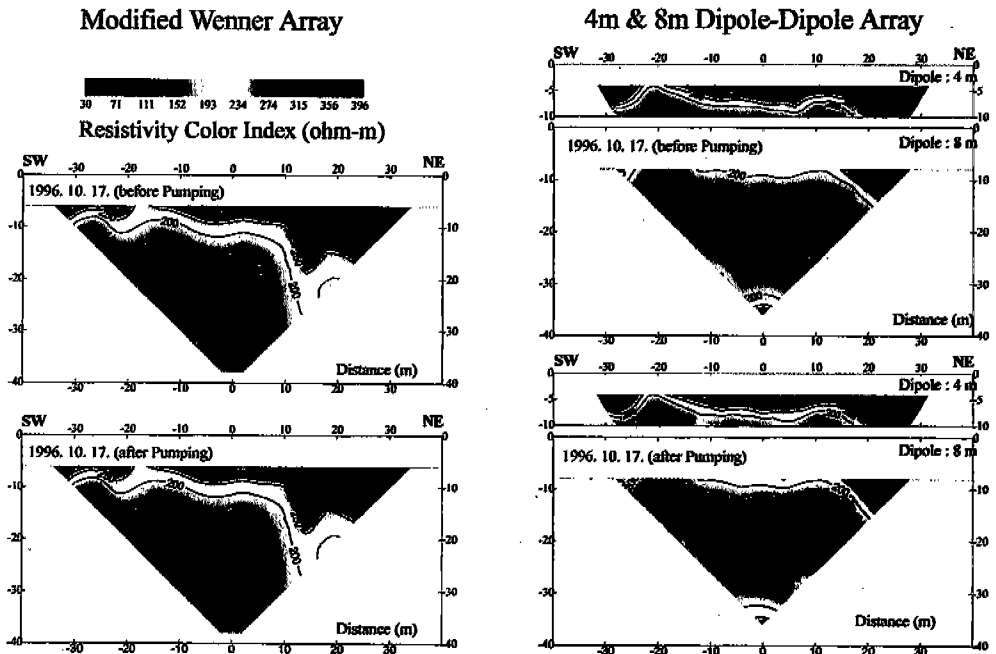
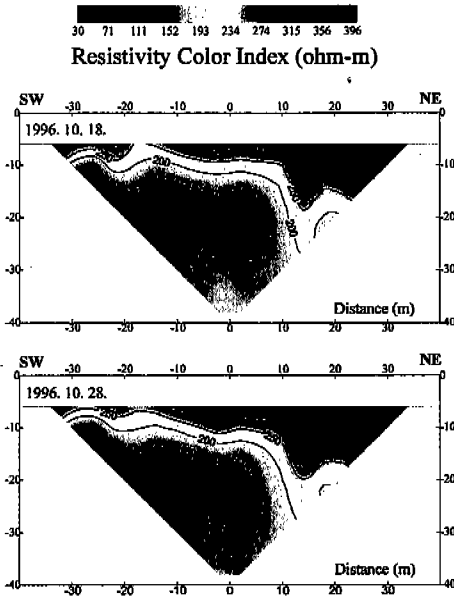


Fig. 7. Apparent resistivity pseudosections acquired from field site, Jeong-Dong Ri, Geum River on the beginning day of pumping test. The data were acquired one hour before and after pumping test started. Measurement date and array configurations are captioned in figures.

Modified Wenner Array



4m & 8m Dipole-Dipole Array

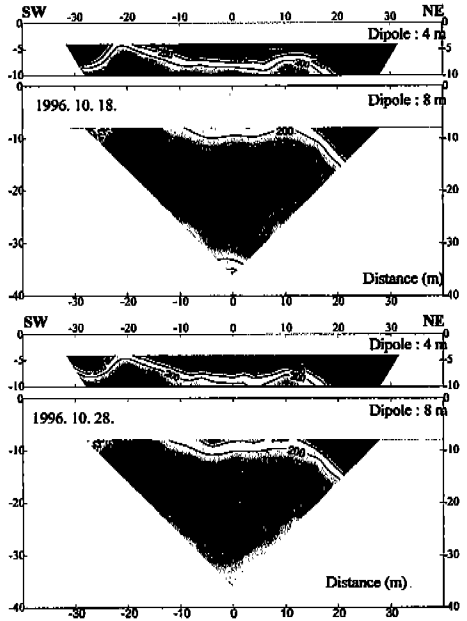
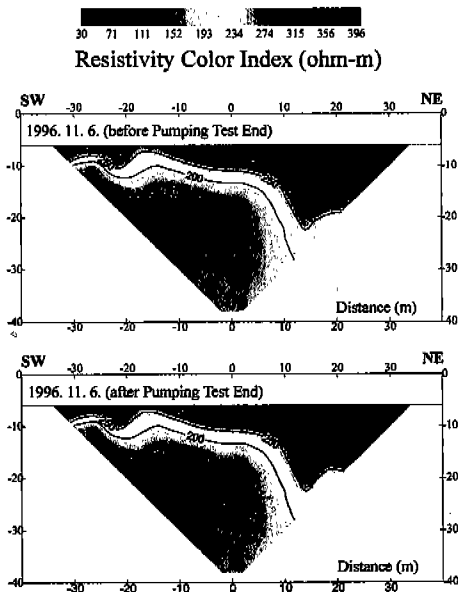


Fig. 8. Apparent resistivity pseudosections acquired from field site, Jeong-Dong Ri, Geum River during the pumping test. Measurement date and array configurations are captioned in figures.

Modified Wenner Array



4m & 8m Dipole-Dipole Array

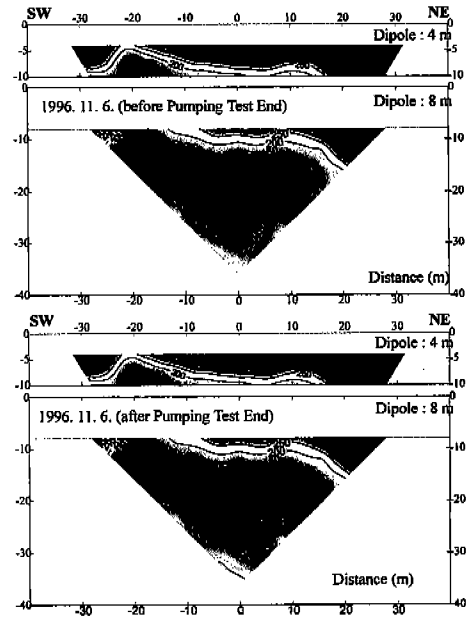


Fig. 9. Apparent resistivity pseudosections acquired from field site, Jeong-Dong Ri, Geum River on the last day of the pumping test. The data were acquired one hour before and after pumping test stopped. Measurement date and array configurations are captioned in figures.

가능성을 보여준다.

전기비저항 수치 모델 결과, 겔보기 전기비저항치의 변동을 보이는 부위는 실제 지하수위 변화에 의해 전기 비저항치의 변화가 나타난 지역 및 근접 위치에서 나타나며, 실제로 전기비저항의 변화가 없는 대수층 하부와 불투수층경계 부분에서도 겔보기 비저항치의 변화가 나타난다. 또한 현장에서 획득된 전기 비저항 모니터링 자료도 수치 계산에서 보여주었던 현상과 유사한 결과를 보여주고 있어 충적층내 지하수위 변동을 추정하는데 전기 비저항 모니터링 방법이 실제로 적용가능함을 실증하고 있다.

그러나 기본적으로 전기비저항탐사가 전위 자료를 사용하는 포텐셜 계통의 탐사법이라는 한계와 지하의 지질이 매우 복잡하거나 전극 접지, 측정 및 심한 기후조건 변화 등으로 상대적으로 자료 획득 오차가 커지는 경우등을 고려해 볼 때, 전기 비저항 모니터링 독자적으로 정량적인 지하수위의 변동량 및 명확한 수위 경계를 알아내는 데는 한계가 있다고 판단된다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 전기비저항 모니터링 방법과 더불어 고해상도 탄성과 탐사, 물리점층 혹은 지하레이다 탐사법과 같이 지하의 물성경계를 직접적으로 파악할 수 있는 탐사를 함께 적용하는 것이 충적층 지하수의 정밀한 거동 특성을 연구하는데 바람직하다고 사료된다.

사 사

본 연구는 1996년도 한국수자원공사 연구과제 WRRl-GG-96-4에 의하여 수행되었다. 연구비를 지원해준 한국수자원공사 및 원활한 연구 수행에 협조해준 수자원연구소 동료들에게 감사드리며, 특히 힘든 현장 작업을 도와준 채효석, 백건하, 한찬 연구원에게 진심으로 감사드린다. 또한 원고의 심사와 교정을 위해 수고해 주신 심사위원들과 편집 위원들에게 감사드린다.

참 고 문 헌

- 한국수자원공사, 1996a, 충적층의 수리특성과 전기 비저항의 상관관계 연구, WRRl-GG-96-4.
- 한국수자원공사, 1996b, 하상퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선 방안 조사 연구, WRRl-GG-96-2.
- Becker, E. B., Carey, G. F., Oden, J. T., 1981, Finite elements Vol. I, An Introduction, Prentice-Hall International, Inc., London.
- Kim, Hyoung-Soo, 1994, Geoelectrical structure of the Cheju Island and interpretation methods of geoelectrical surveys, Ph. Sc. Thesis, Seoul Nat'l Univ., Korea.

김형수

대전광역시 유성구 전민동 462-1

한국수자원공사 수자원연구소

TEL : 042)860-0357

FAX : 042)860-0368