

연구논문

## 다채널 전기전도도 모니터링 시스템의 개발과 연안지역 공내수 모니터링에 대한 적용 사례

신제현<sup>1)</sup> · 황세호<sup>1)</sup> · 박권규<sup>1)</sup> · 박윤성<sup>1)</sup> · 변중무<sup>2)</sup>

### The Development of Multi-channel Electrical Conductivity Monitoring System and its Application in the Coastal Aquifer

Jehyun Shin<sup>1)</sup>, Seho Hwang<sup>1)</sup>, Kwon Gyu Park<sup>1)</sup>, Yunseong Park<sup>1)</sup> and Joongmoo Byun<sup>2)</sup>

**요 약 :** 연안지역의 해수침투와 관련된 연구에서 전기전도도의 변화를 파악하는 것은 매우 중요한 문제 중에 하나이며, 특히 염/담수 영역에서의 전기전도도 모니터링은 양수로 인한 염수의 이동을 효과적으로 파악할 수 있기 때문에 양수 설계 최적화에 매우 유용하게 이용될 수 있다. 특히, 공내수의 수직적인 전기전도도 분포는 해수침투대의 특성에 따라서 변하기 때문에 여러 심도에 걸친 동시 모니터링이 필요하다. 본 연구에서는 상업용 모니터링 장비에 비하여 계측장비의 구성비용이 상대적으로 저렴하며 장기간 연속 모니터링 및 측정 변수들을 실시간으로 제어할 수 있는 원격 다채널 모니터링 시스템을 개발하였으며, 전남 영광지역의 해수침투 조사 시추공에 적용하여 양수에 따른 지하수의 전기전도도 변화 및 그 양상을 고찰하였다. 양수를 병행하면서 수행한 모니터링 결과, 일정 심도에서 전기전도도의 증가 또는 감소는 사질층 또는 암반의 균열을 따라 유동하는 지하수의 복합적인 영향임을 파악할 수 있었으며 이와 같은 결과는 양수 전·후에 실시한 물리검층 결과와도 잘 일치하였다. 양수에 의한 공내수의 전기전도도 변화 특성을 심도에 따라서 실시간으로 측정할 수 있는 다채널 모니터링 시스템은 염분농도를 고려한 연안지역 지하수자원 확보에 유용하게 이용될 것으로 판단된다.

**주요어 :** 해수침투, 다채널 전기전도도 모니터링, 양수시험

**Abstract :** Particularly in research related to seawater intrusion, the change of fluid electrical conductivity is one of major concerns, and effective monitoring can help to optimize a water pumping performance in coastal areas. Special considerations should be given to the mounting of sensors at proper depth during the monitoring design since the vertical distribution of fluid electrical conductivity is sensitive to the characteristics of seawater intrusion zone. This tells us the multi-channel electrical conductivity monitoring is of paramount consequence. It, however, is a rare event when this approach becomes routinely available in that commonly used commercial stand-alone type sensors are very expensive and inadequate for a long term monitoring of electrical conductivity or water level due to their restricted storage and difficulty of real-time control. For this reason, we have developed a real-time monitoring system that could meet these requirements. This system is user friendly, cost-effective, and easy to control measurement parameters - sampling interval, acquisition range, and others. And this devised system has been utilized for the electrical conductivity monitoring in boreholes, Yeonggwang-gun, Korea. Monitoring has been consecutively executed for 24 hours, and the responses of electrical conductivity at some channels have been regularly increased or decreased while pumping up water. It, with well logging data implemented before/after pumping water, verifies that electrical conductivity changes in the specified depths originate from fluid movements through sand layer or permeable fractured rock. Eventually, the multi-channel electrical conductivity monitoring system makes an effective key to secure groundwater resources in coastal areas.

**Key words :** seawater intrusion, multi-channel electrical conductivity monitoring, pumping test

## 서 론

연안지역 염/담수 영역에서 전기전도도가 높은 대수층(또는 해수침투대)의 변화특성을 파악하기 위해서는 효율적인 전기

전도도 모니터링이 필요하다. 모니터링에 앞서서 수위와 염분도에 대한 정보가 매우 중요한데, 수위 자료는 주로 조석, 대기압, 강우, 증발산 또는 주변의 양수정에 의해 영향을 받으며 수위 변화에 대한 사전 정보를 알고 있는 경우 정확한 모니터

\*2005년 4월 18일 접수

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부(Geological and Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM))

jehyun@kigam.re.kr

2) 한양대학교 지구환경시스템공학과(Dept. of Geoenvironmental System Engineering, Hanyang University)

링이 가능하다. 그동안 연안지역에서 지구물리적 또는 지구화학적 방법을 이용하여 직/간접적으로 해수침투의 분포와 진행여부를 연구하여 왔다. 황학수 등(2000)은 경기도 화성군에서 조석운동에 의한 해수의 유동을 확인하기 위하여, 슬럼버저 배열(Schlumberger array)을 사용한 전기비저항 모니터링을 수행하여 조석운동에 의한 12시간의 주기를 갖는 길보기전기비저항의 변화를 확인하였고, 이상규 등(2000)은 김제지역에 수행한 전기전도도 모니터링 결과, 센서의 설치 심도에 따라서 반응의 폭이 다른 것을 파악하고 전기전도도검층 자료를 참고로 심도에 따른 전기전도도 모니터링을 수행한 바 있다. 이런 사례들은 전기전도도 모니터링을 설계하는데 있어 센서의 설치 심도에 대한 결정 및 여러 심도에 걸친 장기간 동시 모니터링이 중요함을 보여준다. 그러나 현재 시판되고 있는 상용 모니터링 센서의 경우 센서 하나는 미리 결정된 하나의 심도에서만 모니터링이 가능하며, 더구나 모니터링 결과 또한 내부 메모리에 저장하였다가 모니터링 종료 후 확인해야하는 형태로서 모니터링 결과의 실시간 확인 및 제어가 어려운 단점이 있다. 따라서, 이러한 상용 센서를 이용한 여러 심도에서의 모니터링은 개별 센서의 높은 가격과 모니터링 변수의 설계 및 제어 측면에서 비경제적이며, 비효율적이다.

따라서 본 연구에서는 담수와 염수가 혼재하는 전이대(transition zone)에서 양수에 따른 심도별 전기전도도 모니터링을 위한 실시간 다채널 전기전도도 모니터링 시스템(multi-channel electrical conductivity monitoring system)을 개발하였다. 이 모니터링 시스템은 기존의 상용 시판하는 모니터링 센서와 비교하여 계속 비용의 절감, 장기간 연속 모니터링, 샘플링 간격(sampling rate)이나 측정 범위의 원격 실시간 제어 등이 가능하여 연구 효율성을 크게 증대시킬 수 있다. 또한, 본 시스템은 센서 교체형으로 전기전도도 센서뿐만 아니라 수위, 온도 등 다양한 센서를 부착하여 측정이 가능한 장점을 지니고 있고, 유·무선 인터넷을 이용한 제어 및 측정이 가능하여 향후 그 활용성이 매우 높을 것으로 기대된다. 개발된 시스템은 실내 교정(calibration)을 거쳐 전남 영광군 백수읍 일대 해수침투대에서의 양수시험 간 전기전도도의 실시간 모니터링에 적용하였다. 본 논문에서는 개발된 시스템에 대해 소개하는 한편, 현장 적용 결과를 보여주는데 목적이 있으며, 현장 적용 결과 이와 같은 기술은 염/담수 영역에서 양수로 인한 염수의 유동을 효과적으로 모니터링 할 수 있기 때문에 양수 설계 최적화에 매우 중요하게 이용될 수 있다.

## 다채널 전기전도도 모니터링 시스템

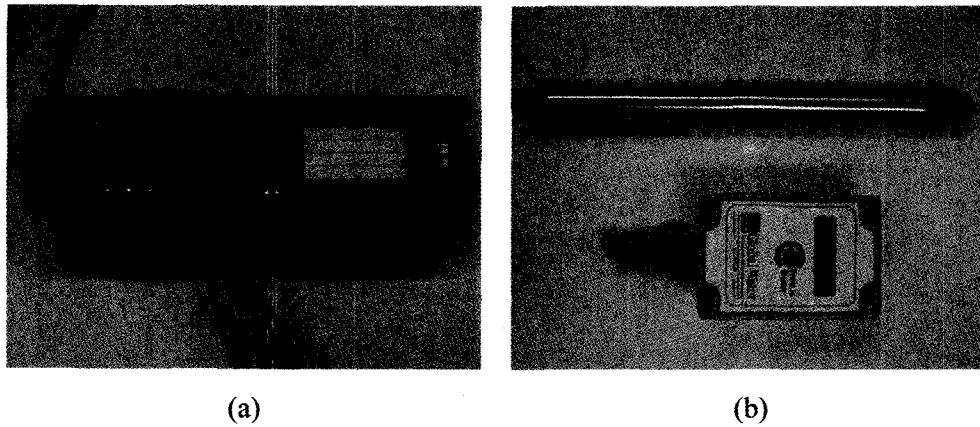
다채널 전기전도도 모니터링 시스템의 하드웨어 구성은 측정 모듈, 전기전도도 센서, 제어용 PC로 구성된다. 측정 모듈은 NI (National Instruments)사의 FieldPoint 제품(모델명 FP-1601, FP-110)으로 통신 모듈(network module)과 8채널의 아

날로그 입력 모듈(analog input module)로 구성된다. 통신 모듈은 10 및 100 Mb/s 속도의 Ethernet network interface를 지원하고 가능한 통신 프로토콜(protocol)은 TCP/IP, UDP, FTP, HTTP, CAN과 Datasocket이며 본 모니터링 시스템에서는 TCP/IP 네트워크 프로토콜을 사용하여 제어하였다. 전원으로 12~24 V의 직류 전원을 사용하여 야외 측정 시 효율성을 높일 수 있고, 최대 9개의 입/출력(I/O) 모듈 장착이 가능하여 각기 다른 입출력신호의 종류와 범위를 가진 다양한 센서와의 호환이 가능하다. 통신 모듈에 직접 연결되는 아날로그 입력 모듈은 입력 신호의 형태로 전위/전류 모두 가능하며 그 범위는 전위는 최대 10 V, 전류는 20 mA까지 포함한다. 또한 8채널, 16 bit의 분해능을 가지며 내장 필터를 이용해 50 내지 60 Hz 잡음을 효과적으로 제거한다. 최대 샘플링 간격은 1개 채널만 이용하는 경우 0.17초, 8개 채널을 동시에 측정하는 경우 1.5초인데 비교적 시간에 따른 변화 폭이 작은 수위나 전기전도도 측정에는 충분히 적용 가능한 범위이다(류창하 등, 2003). 전기전도도 센서는 Global Water Instrumentation사의 WQ 301로 측정 범위는 0~5,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 와 0~20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 센서 출력은 4~20 mA로 표준화된 출력을 이용하며 입력 전원은 12 V 직류전원을 사용한다. 센서 내부의 자체 저항기(thermistor)를 이용하여 자동적으로 온도를 보정한 값을 출력한다. Fig. 1은 본 시스템의 하드웨어를 구성하고 있는 측정 모듈(a) 및 전기전도도 센서와 간이측정용 본체(b)이다. 측정 모듈의 크기는 21.5×10×9 cm이며 Fig. 1(a)에서 왼쪽이 통신 모듈이고 오른쪽은 아날로그 입력 모듈이다. 전기전도도 센서의 크기는 직경 2.54 cm, 길이 26.7 cm로 매우 작은 시추공 또는 케이싱에서도 측정 가능한 장점을 갖는다.

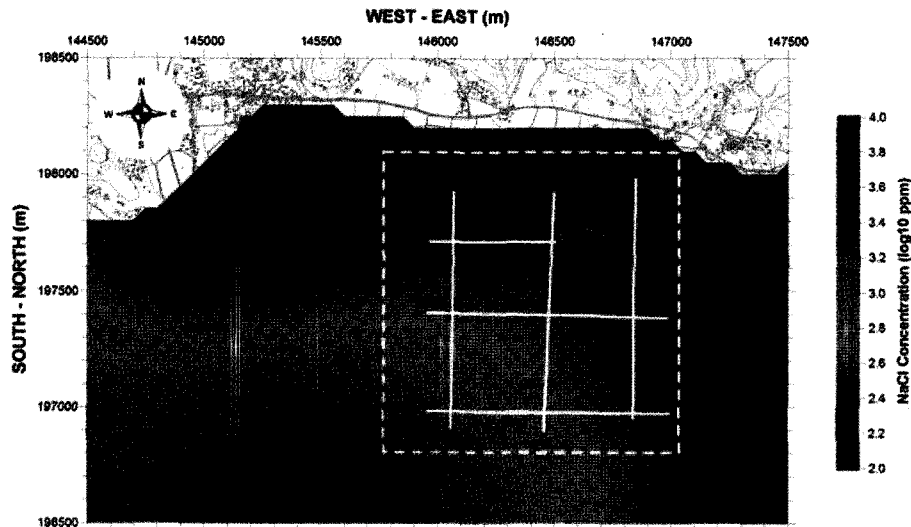
측정 소프트웨어는 LabVIEW™ (ver. 7.1, National Instruments Corp.)를 이용하여 개발하였으며 Front Panel과 Block Diagram으로 구성된다. 사용자는 Front Panel 상에서 모니터링 되는 상황을 실시간으로 도시, 기록 및 점검 할 수 있어 기존의 모니터링 장비를 이용하는 경우보다 제어가 편리한 장점을 갖는다. 자료측정은 전기전도도 센서(0~5,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  범위 2개, 0~20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  범위 2개)에서 측정된 신호를 4개의 채널에서 세그먼트 별로 도시하고, 각 센서의 교정곡선(calibration curve)을 이용하여 실시간으로 전기전도도 값을 도시하여 모니터링의 효율성을 극대화하도록 하였다. 또한 샘플링 간격과 측정시간을 사용자 임의로 조정할 수 있으며, 측정 자료는 측정과 동시에 자료처리를 위하여 저장된다. 따라서 본 시스템은 모니터링 상황을 실시간으로 확인할 수 있으며, 측정 간격 등과 같은 모니터링 변수를 실시간으로 제어할 수도 있는 장점이 있다.

## 모니터링 시스템의 현장 시험

개발된 다채널 전기전도도 모니터링 시스템을 해수침투대에



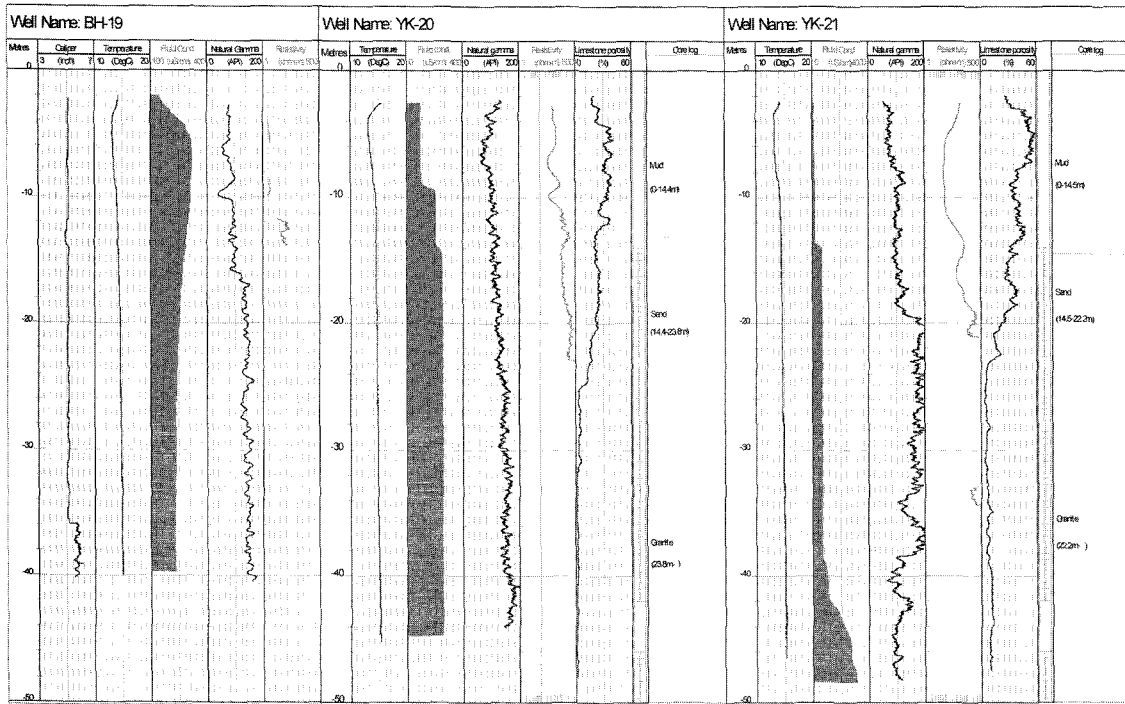
**Fig. 1.** Multi-channel electrical conductivity monitoring system. (a) FieldPoint modular distributed I/O system (National Instruments Corp.). Network module (FP-1601, left) can support a high-speed Ethernet network interface and connect up to nine I/O modules. I/O module (FP-110, right) is versatile analog input module that can be used to measure a variety of voltage and current level, (b) Electrical conductivity sensor (Global Water Instrumentation Inc.) produces a 4~20 mA output signal and covers range from 0 to 5,000/20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Fig. 2.** Contour map of estimated equivalent NaCl concentration in Baeksu-eup, Yeonggwang-gun, the western seashore of Korea (Lee *et al.*, 2003) and the location of electrical conductivity monitoring boreholes YK-19 and YK-20 derived from seismic refraction tomography and electrical resistivity survey (Hwang *et al.*, 2004).

서 양수에 따른 대수층내 지하수의 전기전도도 변화를 모니터링하기 위해 적용하였다. 적용된 지역은 전남 영광군 백수읍 일대로 이 지역은 전반적으로 평탄한 지형을 이루고 중앙부는 평야지대, 서쪽으로 바다와 접해있으며 북동부에는 해발 50 m 이상의 가지산을 포함하는 산지 지형이 분포한다. 본 지역은 다양한 조사와 연구를 통해 개발된 해수침투대의 등가염분농도 추정기술을 이용하여 해수/담수의 분포를 해석한 바 있어 염/담수 경계가 형성된 것으로 추정되는 전이대 지역이다(이상규 등, 2003). 모니터링의 대상 시추공은 탄성과 굴절법 토모그래피탐사와 전기비저항탐사 자료의 해석결과를 바탕으로 선정된 시추공으로 YK-19와 YK-20호공이며, Fig. 2의 등가염분농도도 분포와 지구물리탐사의 결과에 따르면 담수영역에 속한다(Hwang *et al.*, 2004). 두 시추공간 거리는 29.2 m이고,

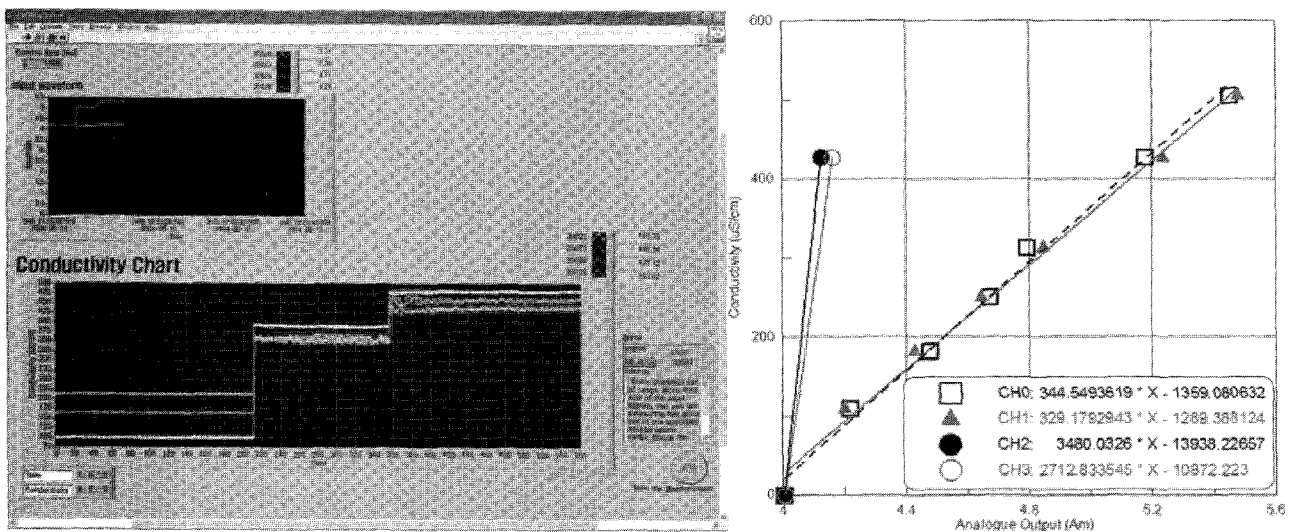
YK-19호공은 적정 양수량 산정을 위한 양수시험을 목적으로 심도 42 m까지 굴착된 것으로 공경 6인치 시추공에 5인치 PVC 케이싱을 심도 36.3 m까지 삽입하였으며 screen 구간은 공벽영상화검층으로 확인한 결과, 8.7~24.1 m, 32.2~36 m이다. 관측정으로 이용한 YK-20호공은 공경 3인치 시추공으로 심도 50 m까지 굴진하였으며 내경 50 mm의 PVC 케이싱을 심도 36.3 m까지 설치하였고, screen 구간은 14~42 m과 46~50 m이다. Fig. 3은 두 시추공에 대한 물리검층 결과와 시추 결과를 나타낸 것으로서 | |는 케이싱 구간, ⊕는 케이싱 내 screen 구간, ∇는 물리검층 당시의 지하수위를 나타낸다. YK-20호공 위치에서 니질층의 심도는 14.0 m, 사질층 구간은 14.0~23.8 m이고 사질층 하부는 기반암인 화강암이다. 각 시추공에 대한 전기전도도검층 결과, YK-19와 20호공의



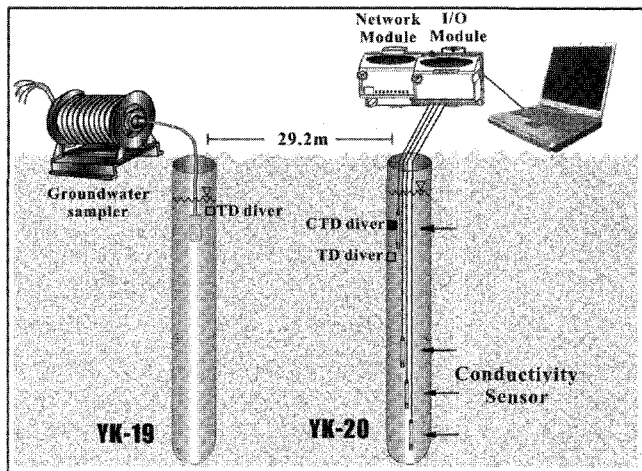
**Fig. 3.** The results of geophysical well logs in borehole YK-19, YK-20 and YK-21 which are located near the centre of survey area as shown in Fig. 2. It delineates that electrical conductivity of fluid in YK-19 and YK-20 is less than  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ , while that of YK-20 is more than  $1,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

공내수 전기전도도는 약  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$  이하로 담수에 해당하며, 참고로 YK-20호공으로부터 267 m 떨어진 YK-21호공의 경우, 사질층 구간 하부는 약  $700 \mu\text{S}/\text{cm}$  정도, 그리고 40 m 하부는 약  $3,000 \mu\text{S}/\text{cm}$  정도로 염수(또는 혼합수) 영역에 해당한다. 따라서 모니터링에 이용할 전기전도도 센서는  $0 \sim 5,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 와  $0 \sim 20,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위이나, 대상 시추공의 전기전도

도가  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$  이하이기 때문에 센서 제작회사에서 제공한 교정곡선을 이용하지 않고  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$  이하의 범위에서 자체 교정을 수행하였으며 이와 같은 과정은 실제 현장에서 진행되는 모니터링과 개념적으로는 동일하다. Fig. 4는 개발된 측정 시스템을 통한 4개의 전기전도도 센서에 대한 교정 화면 및 교정결과이다. 증류수, 수돗물 및 전기전도도 표준 용액 등을



**Fig. 4.** The calibration of electrical conductivity sensors. Sensors have been re-calibrated considering the electrical conductivity of target area, which is less than  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ . The derived calibration curves and equations for four channels are utilized to electrical conductivity monitoring system.



**Fig. 5.** Schematic diagram of multi-channel electrical conductivity monitoring. Electrical conductivity at designated depths have been monitored and logged with 1,000 ms interval in monitoring well YK-20 while pumping up water at a uniform rate in pumping well YK-19, which is 29.2 m apart from the monitoring well.

이용하여 현장의 전기전도도 값을 포함하는 범위 내에서 센서에 대한 교정곡선을 작성하였다. 측정범위가 두 종류인 센서를 선택한 것은 해수침투대의 전기전도도 범위가 크기 때문인데, Global Water사의 WQ 301센서 오차값은 측정 전범위의 1% 수준이지만 측정 범위가 20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 인 센서를 전기전도도가 낮은 경우에 적용하면 센서의 분해능으로 인하여 측정의

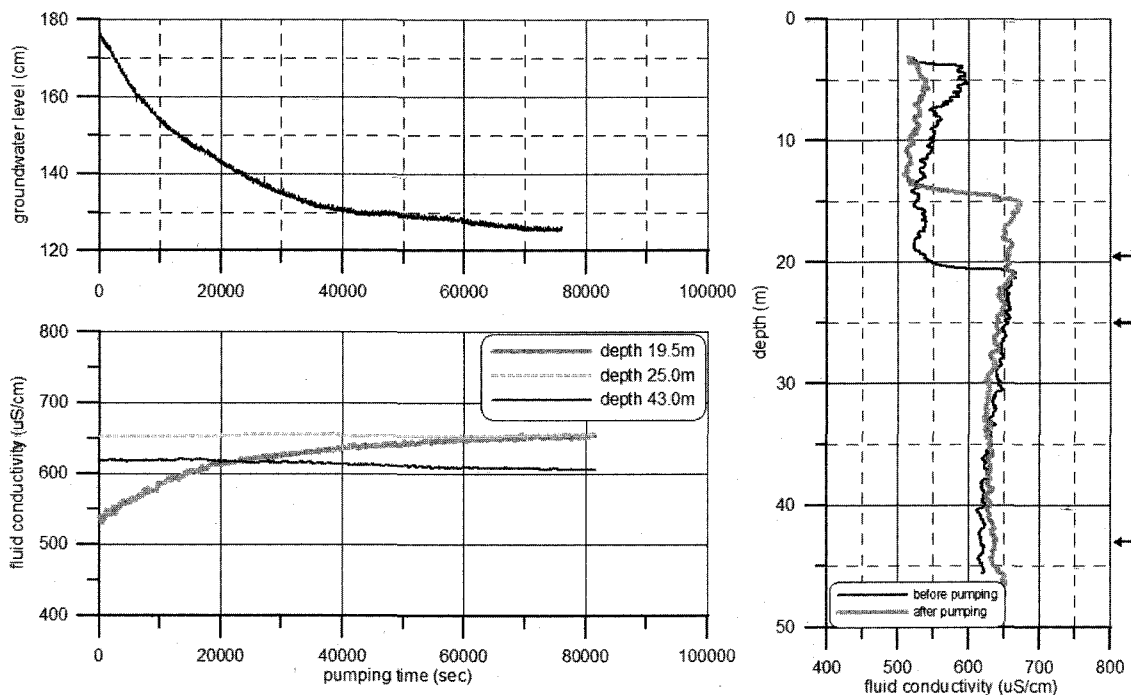
정확도가 떨어졌다.

Fig. 5는 모니터링 시스템의 현장 적용 개념도이다. 시추공의 크기가 5인치인 YK-19호공에 지하수 샘플러(sampler)의 펌프를 일정 심도에 위치하고 양수하면서 남쪽으로 29.2 m 떨어진 지점에 위치하는 YK-20호공에 센서를 심도별로 배열하여 전기전도도 모니터링을 실시하였다. 4개의 전기전도도 센서를 이용하여 샘플링 간격 1초로 약 1일간 양수에 따른 전기전도도 변화를 측정하였다. 또한 시판용 장비인 Eijkelkamp사의 전기전도도, 온도 및 수위를 측정할 수 있는 CTD (Conductivity, Temperature, and Depth)-diver와 온도/수위 측정이 가능한 TD-diver를 설치하여 측정 자료를 비교하였다.

### 다채널 전기전도도 모니터링 자료 해석

시추공의 전구간에 대한 온도나 전기전도도의 분포를 파악하기 위해서는 일반적으로 물리검층 장비를 이용하여 측정하는데, 물리검층 장비는 시추공 주변 지층의 다양한 물성이나 공내수의 물리, 화학적인 특성을 측정하는데 유용하지만 장비의 규모나 가격을 고려할 때 장기적인 모니터링을 수행하기에는 적합하지 않다.

앞에서 언급한 다채널 전기전도도 모니터링은 2004년 6월과 11월 총 2차에 걸쳐 수행되었다. 6월에 실시한 1차 모니터링은 YK-19호공 심도 10 m에 샘플러의 펌프를 위치하고 14 l/min으로 양수를 진행하면서 YK-20호공에서 전기전도도를



**Fig. 6.** Groundwater level change of YK-19 during pumping up water in YK-20 (upper left), monitoring results of fluid conductivity at depth of 19.5, 25, and 43 m in YK-20 (lower left), and fluid conductivity logging results in YK-20 implemented before/after pumping (right, arrows mark the depth of mounted conductivity sensors).

모니터링하였다. 측정심도는 5 m, 19.5 m, 25 m, 및 43 m이며 상업용 장비인 CTD-diver는 5 m 심도에, 수위측정용 TD-diver는 각 시추공에 설치하여 수치모델링의 입력자료로 사용하고자 했다. 그러나 심도 5 m에 설치한 전기전도도 센서와 CDT-diver에서의 전기전도도 변화폭이 매우 크고 넓은 측정 범위로 인한 분해능 감소로 자료 해석에서는 제외하였다. 양수 시간은 21~22시간 정도이며 측정간격은 1초이다. 관측중인 YK-20호공에서 물리검층 장비를 통하여 양수 전·후에 실시한 전기전도도검층 자료와 수위변화 자료, 그리고 3개의 심도에서 측정된 전기전도도 모니터링 자료의 결과는 Fig. 6과 같다. 양수 전의 전기전도도 분포를 보면 심도 약 20 m까지는

약 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이고 그 하부는 약 600~650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보이고 있다. 모니터링의 주목적은 양수에 따른 지하수의 전기전도도 변화 및 그 양상을 고찰하는 것으로 Fig. 6의 왼쪽 아래의 결과를 보면, 양수 시작 시의 전기전도도는 심도 19.5 m에 위치한 센서에서 가장 작은 값을 보이거나 양수가 진행됨에 따라서 점진적으로 증가하며 이런 양상은 오른쪽 그림의 물리검층 결과와 잘 일치하고 있다.

11월에 실시한 2차 모니터링의 결과는 Fig. 7과 같다. 1차에 실시한 모니터링에 비해 시추공 YK-19호공에서의 양수량을 18 l/min로 늘리고 YK-20호공에서 10 m, 15 m, 19.5 m, 및 40 m의 심도에 전기전도도 센서를 위치시켜 니질층, 사질층 및 화강암층 각각에서의 지하수 유동에 따른 전기전도도 변화 양상을 보고자 하였다. 양수 전의 전기전도도 분포를 보면 심도 약 15 m 까지는 약 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이하이고 그 하부는 약 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보이고 있다. 심도 10 m에 위치한 센서의 전기전도도값은 150~170  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 큰 변화를 보이지 않으며, 심도 15 m의 전기전도도값은 양수가 진행됨에 따라 약간의 증가되는 현상을 보인다. 심도 19.5 m와 40 m에 설치된 센서는 0~20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  범위의 전기전도도 센서로 물리검층으로 측정된 결과치보다 높은 값을 나타낸다. 이는 현장 지하수의 전기전도도 수준에 비해 사용된 센서의 측정범위가 너무 커 분해능이 떨어지기 때문으로 보인다. 제 1차 전기전도도 모니터링 결과와는 반대로 양수가 진행됨에 따라 심도 19.5 m의 전기전도도는 감소하는 경향을 보이는데 이는 역시 양수 전/후에 실시한 물리탐사의 결과와 잘 일치하며 특히 19.5 m와 40 m 위치의 센서에서의 전기전도도 값의 큰 변화는 사질층 또는 암반의 균열을 따라 유동하는 지하수의 복합적인 영향으로 판단된다.

## 결론

연안지역 염/담수 영역에서 양수로 인한 염수의 이동을 효과적으로 파악하기 위한 다채널 전기전도도 모니터링 시스템을 개발하여 착정공에서 양수 시 관측점에서 심도별로 전기전도도 모니터링을 실시하였다. 본 시스템은 기존의 시판하는 모니터링 센서에 비하여 계측비용을 절감할 수 있고, 장기간 연속 모니터링이 가능하며, 측정 변수들의 실시간 제어가 가능하고, 또한 센서 교체형으로 유사한 다른 분야의 연구에도 효과적으로 이용될 수 있다. 전남 영광지역에 시스템을 적용한 결과, 현재 두 시추공이 위치하고 있는 지역이 담수 영역이지만 가까운 거리에 혼합수(또는 염수) 영역이 존재하여 양수의 영향에 민감한 것으로 판단된다. 장기 양수를 할 경우, 염분도(또는 전기전도도)가 높은 지하수가 내륙 쪽으로 이동할 가능성이 높는데 전이대 영역에 위치하는 관측점에 전기전도도 센서를 심도 별로 설치하여 모니터링을 수행하면 해수침투의 확산을 감시하면서 적정 양수가 가능할 것이다. 시추공 YK-19

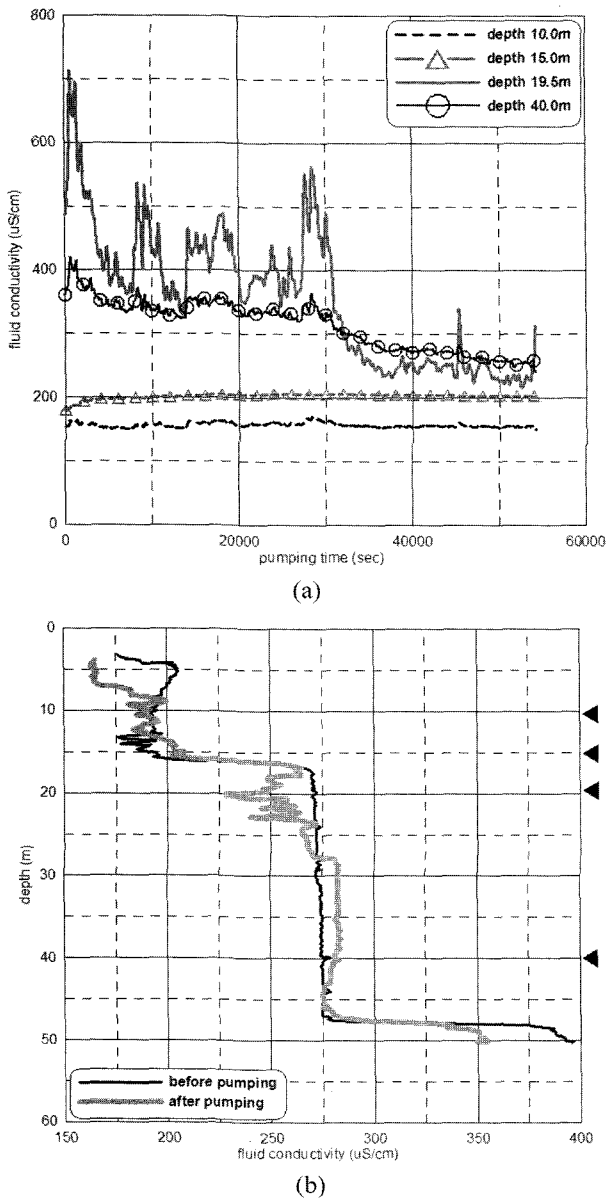


Fig. 7. Monitoring results executed in November 2004. (a) fluid conductivity fluctuation at depth of 10, 15, 19.5, and 40 m in YK-20, (b) fluid conductivity logging results in YK-20 implemented before/after water pumping.

및 YK-20호공이 위치한 지역의 경우, 1일에 약 20톤 정도로 양수할 때 전기전도도의 변화가 큰 점에서 양수의 영향으로 염수의 이동이 많은 것으로 해석할 수 있으며 정확한 영향을 파악하기 위해서는 다양한 양수량과 시간에 따른 염분도 변화를 측정해야 할 것으로 판단된다. 이들 전기전도도 모니터링 자료는 실제 현장 시험의 시간과 비용, 그리고 적용의 한계성을 극복하기 위한 수치모델링의 교정 자료로도 활용될 것이다.

## 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업인 “해수침투 확산저지 및 피해개선기술 개발”사업의 지원으로 수행되었다.

## 참고문헌

류창하, 김민규, 박찬, 박철환, 신중호, 신희순, 전양수, 최병희,

- 최성용, 강선덕, 권광수, 김임호, 이상권, 김정호, 성낙훈, 신제현, 이명중, 조성준, 박의섭, 정용복, 백승규, 2003, 지하공간 구조물 안전감시 기술연구, 한국지질자원연구원, KR-03-11.
- 이상규, 김세준, 김용욱, 김인기, 김통권, 김현태, 박인화, 신제현, 신현모, 이명중, 이원석, 이태섭, 지세정, 진재화, 허대기, 황세호, 황인걸, 황학수, 2003, 해수침투 평가, 예측, 및 방지기술 개발, 자연재해방재기술개발사업 2단계 최종보고서, 과학기술부, 00-J-ND-01-B-14.
- 이상규, 황세호, 황학수, 박인화, 2000, 입해지역 해수침투 평가를 위한 물리검층의 적용성, 물리탐사, 3, 101-111.
- 황학수, 이상규, 고동찬, 김양수, 박인화, 2000, 전기비저항 모니터링을 이용한 해수침투 파악, 물리탐사, 3, 1-6.
- Hwang, S. H., Shin, J. H., Park, I. H., and Lee, S. K., 2004, Assessment of seawater intrusion using geophysical well logging and electrical soundings in a coastal aquifer, Youngkwang-gun, Korea, *Exploration Geophysics*, 35, 99-104.
- National Instruments, 2004, The Measurement and Automation (2004 Catalog).