

## 지하수 샘플러 개발 및 해수침투 관측정에서의 평가

이봉주<sup>1\*</sup> · 문상호<sup>1</sup> · 김기표<sup>2</sup> · 김용철<sup>1</sup> · 김용제<sup>1</sup> · 고기원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원, <sup>2</sup>제주특별자치도 환경자원연구원

### Development of a Groundwater Sampler and Test in a Well Affected by Seawater Intrusion

Bong-Joo Lee<sup>1\*</sup>, Sang-Ho Moon<sup>1</sup>, Gee-Pyo Kim<sup>2</sup>, Yong-Cheol Kim<sup>1</sup>,  
Yong-Je Kim<sup>1</sup> and Gi-Won Koh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral resources, <sup>2</sup>Jeju Special Self-Governing Province

다양한 조건의 관정에서 지하수를 채수할 수 있는 샘플러를 개발하고 평가하였다. 이 샘플러는 공압 튜브, 공압 실린더, 주사기 바늘 그리고 샘플병으로 구성되며, 공기압을 동력원으로 사용한다. 공압 실린더는 주사기 바늘을 샘플병의 고무마개에 관통시키는 기능을 담당하며, 샘플병 고무마개를 관통한 주사기 바늘은 샘플병으로의 지하수 유입 통로 역할을 담당한다. 샘플러 현장시험은 해수의 영향으로 수질이 주기적으로 변화하는 제주 한동지역의 해수침투 관측정을 대상으로 하였다. 샘플러의 내부와 외부에 CTD Diver를 장착하고 관정내 동일 심도에서의 샘플링을 여러 차례 반복하면서 샘플링 단계별 전기전도도와 압력 변화를 측정하였다. 시험 결과, 샘플러를 작동시킬 때에만 지하수가 샘플러로 유입되며, 샘플러 내부와 외부에서 측정된 지하수의 전기전도도와 압력은 거의 일치하는 것이 확인되었다. 이러한 결과는 이 연구에서 제시한 샘플러를 이용하여 채수한 지하수 시료들이 샘플러 설치 심도의 샘플링 시간대의 지하수 수질을 정확하게 반영하고 있음을 지시한다.

**주요어** : 지하수, 샘플러, 공압 실린더, 주사기 바늘

A new ground water sampler was developed and evaluated for target depth sampling under most rigorous field conditions. This new concept sampler comprises an air-cylinder, a hypodermic needle and a sampling bottle. Pressurized air or nitrogen gas can be used as a mechanical power source to operate the sampler. The air-cylinder is used to jab the hypodermic needle into the rubber cap of the sampling bottle. The hypodermic needle functions as a pathway to inject groundwater into the sampling bottle. Field test was conducted in a seawater intrusion monitoring well located at Handong district of Jeju Island. Water qualities in this well are periodically changed from the effects of sea water. Water sampling for the same target depth in this well were tried at various times, and variations in electrical conductivity and pressure at the inside and outside of the sampler were measured using CTD divers. We found that the device could collect water samples only when it was actuated, and the pattern and range of variations in electrical conductivities and pressures measured at the inside and outside of the sampler were nearly identical. These results indicate that water samples using the sampler presented in this study represent correctly water qualities in which the samplings were made at a specific target depth in a well.

**Key words** : groundwater, sampler, air-cylinder, hypodermic needle

## 서 론

관정내 지하수의 수질 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 지하수 시스템의 지화학적, 수리지질학적 교환

정도를 최소화하면서 지하수 시료를 채취할 수 있고, 지하수 시료의 샘플링 이후에서 지하수 시료의 공기접촉 및 휘발성 성분의 이탈을 막을 수 있는 지하수 샘플러 (groundwater sampler)가 요구된다. 그러나 대부분의 지

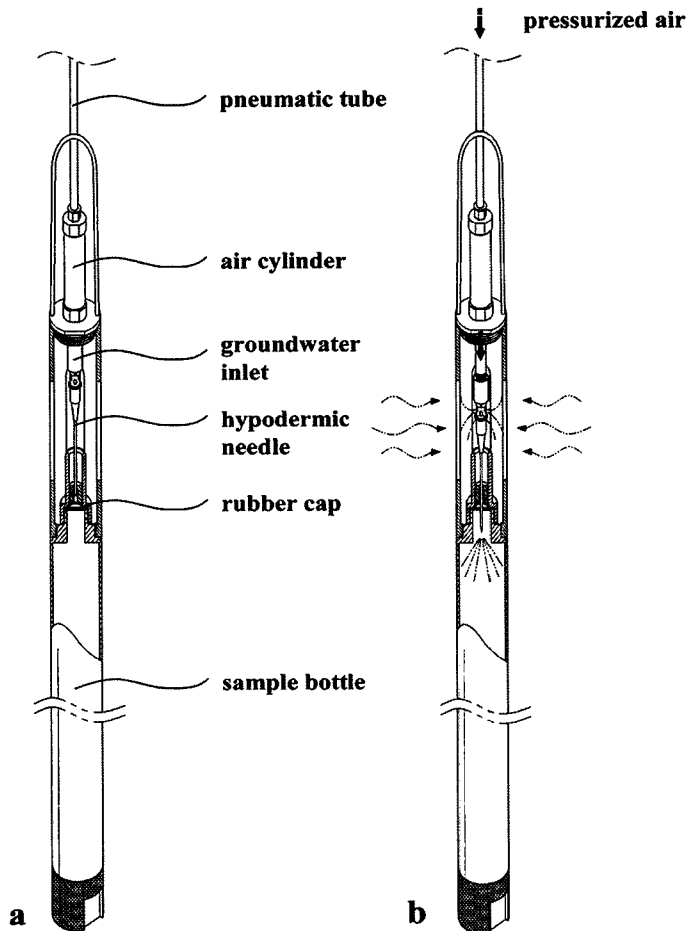
\*Corresponding author: lbj@kigam.re.kr

하수 샘플러들은 샘플러 자체 또는 샘플링 과정상의 문제점으로 인해 시료의 화학 성분 변화가 야기될 수 있음이 지적되고 있다(Parker, 1994).

일반적으로 지하수 시료 채취에는 수중 펌프(submersible pump), 페리스탈틱 펌프(peristaltic pump) 그리고 블래더 펌프(bladder pump) 등 펌프를 이용하여 지하수를 강제 배수시키면서 지하수 시료를 채취하는 적극적 방법의 샘플러와, 확산 특성을 이용한 디퓨전 샘플러(diffusion sampler)와 베일러(bailer) 등의 소극적 방법의 지하수 샘플러들이 주로 사용되고 있다. 펌프를 이용한 지하수 시료를 채취할 경우, 펌프, 호스, 전기 등 부대장비가 필요하고 시료 채취 후 이들 장비의 세척(decontamination) 과정이 요구되며, 지하수 시료의 강제

배출로 인한 관정내 지하수 시스템의 교란과 지하수 시료의 공기접촉 및 휘발성분의 이탈이 우려된다. 디퓨전 샘플러의 경우는 관정내 지하수 시스템의 교란을 최소화하는 장점이 있으나 시료 채취에 많은 시간이 요구되는 단점이 있다 (Parker and Clark, 2002).

이 연구에서 제시한 지하수 샘플러는 베일러 타입이며, 공기압 또는 가스압을 동력원으로 이용하여 지하수 시료를 채취하는 방식으로 관정 내에서의 지하수 시스템 교란과 시료 채취후의 폭기(aeration)와 휘발성 성분의 손실을 최소화하는데 주안점을 두고 개발한 것이다. 이 연구의 주 목적은 지하수 샘플러 개발에 적용된 기술 내용과 작동 방법 등을 기술하고 현장에서의 평가 결과를 제시하는데 있다.



**Fig. 1.** Schematic diagrams of the groundwater sampler. (a) parts name of the sampler, (b) diagram illustrating the sampling method. After lowering of the sampler to target depth in a well, the needle penetrates the rubber cap of the sample bottle by actuating the air cylinder. The needle functions as a pathway to inject groundwater in a well into the sample bottle.

## 샘플러 설계 특징과 작동 과정

가능한 한 다양한 조건의 관정에서 다양한 목적의 지하수 시료 채취가 가능한 지하수 샘플러를 개발하기 위해 설계과정에서 주로 고려된 주안점은 다음과 같다.

- 강제 배출(purging) 없이 샘플링 가능한 것.
- 샘플링 이후 휘발성분 손실(degassing) 및 공기 접촉(aeration) 최소화.
- 장비 세척(decontamination)의 최소화.
- 목적 시간(target time), 목적 심도(target depth)의 지하수 샘플링.
- 관정의 크기(well diameter)에 제한 받지 않을 것.
- 샘플러 조작과 이동이 용이할 것.

Fig. 1은 이 연구에서 제안한 지하수 샘플러로서 그 구성과 특징을 살펴보면, 우선 샘플러 부분과 샘플링 부분으로 크게 구분되며, 샘플러 부분은 공압 튜브(pneumatic tube)와 실린더 그리고 지하수 유입구와 주사바늘로 구성된다. 공압 튜브는 공기압축기나 가스탱크로부터의 고압의 공기압과 가스압을 실린더까지 전달하는 역할을 담당한다. 실린더 피스톤의 끝부분에는 시중에서 구입 가능한 주사기 바늘을 끼울 수 있도록 장착대를 부착하였으며, 장착대에는 지하수 시료가 주사기 바늘로 유입될 수 있도록 다수 개의 구멍이 뚫려 있다. 주사기 바늘은 우선 샘플링의 고무 마개를 관통시키는 역할과 거치대의 구멍을 통하여 유입된 지하수 시료가 샘플링으로 유입되도록 하는 통로 역할을 담당한다. 샘플링 부분은 상단의 고무마개와 이를 고정시키는 샘플링 마개로 구성되며, 이들은 샘플링 내부를 외부와 단절시키는 역할을 담당한다.

샘플링 과정을 살펴보면 우선 샘플링 상단을 고무마개로 막은 후 샘플링 마개로 이를 고정시킨다. 샘플링 상단을 주사기 바늘이 장착된 공기압 실린더쪽으로 향하게 한 다음 샘플러 부분과 결합시킨다. 결합된 지하수 샘플러를 시추공내 원하는 깊이까지 내린 다음, 시추공내의 지하수 흐름이 안정될 때 까지 충분히 기다린다. 이후 목적 시간이 되어 공기압이나 가스압을 샘플러에 가하면 실린더의 피스톤이 하향으로 직선 운동하게 되며, 피스톤의 하향 직선 운동에 의해 실린더의 끝에 장착된 주사기 바늘이 채수병의 고무마개를 관통하게 된다. 시료채수병의 고무마개를 관통한 이후에는 주사기 바늘은 지하수가 샘플링으로 유입되는 통로 역할을 담당하게 된다. 샘플러 설치 심도의 수압은 샘플링 내부보다 높으므로 샘플링의 고무마개가 주사기 바늘에 의해

관통되면 샘플러 주변의 지하수가 주사기 바늘을 통하여 샘플링 내부로 유입되게 된다. 샘플링에 지하수가 찰 때까지 수 분 동안 기다린 후 샘플러에 가해진 공기압 또는 가스압을 해제시키면 실린더의 피스톤이 상향 후퇴하게 되어 샘플링과 주사기 바늘이 분리하게 되므로, 샘플링은 외부로부터 다시 폐쇄되어 분리된다. 연속적인 지하수 시료를 채취하기 위해서는 지상으로 인양된 샘플러로부터 샘플링을 분리, 지하수 시료를 회수하고 세척하여 재사용하거나 다른 샘플링을 장착하여 상기의 과정을 반복하면 된다.

## 현장 시험

이 번 연구에서의 샘플러 시험은 이 연구에서 제안한 지하수 샘플러가 지하수 시료 채취에 있어서 시간, 공간적으로 제어 가능한지를 파악하는 것이다. 즉 원하는 심도에서 원하는 시간에 지하수 시료를 채취할 수 있는지를 평가하는 것이다. 이를 위해 제주 동부지역의 해수 침투 관측망에 속하는 HD2호공을 시험 대상 관정으로 선정하였다. HD2호공은 해양 조석의 영향으로 지하수 위, 전기전도도 그리고 지하수온이 인지 가능한 폭으로 조석변동하는 특성을 보여 (이봉주 외, 2004), 지하수 시료 샘플링의 시간, 공간적 제어가 가능한지를 평가하는데 적절한 관정으로 판단되었기 때문이다. 즉 지하수 샘플링이 시공간적으로 제어 가능하다면 관정내 원하는 심도에서 원하는 시간에 지하수 시료를 반복적으로 채취할 경우, 연속적으로 채취된 지하수 시료의 물리 화학적 특성에는 관정내 목적 심도와 목적 시간에 따른 해양 조석의 영향이 정확하게 반영되어 있어야 할 것이다.

### HD2호공

현장 시험 대상 관정으로 선택된 HD2호공은 제주 동부지역 해수침투 관측망을 구성하는 관정으로 제주시 구좌읍 한동리 해발고도 44 m 지점에 위치하고 있으며, 해안으로부터 2.2 km 떨어진 곳에 자리하고 있다 (Fig. 2). 관측정은 지표하 총 202.0 m (EL. -158.0 m)까지 착정되어 있다. 구성 지질을 살펴보면, 지표하 161.0 m (EL. -118.0 m)까지는 휘석 현무암과 감람석 현무암의 분출 단위로 연속되어 있으며, 지표하 161.0 m에서 굴착 최종 심도인 지표하 202.0 m (EL. -159.0 m)까지는 미고결 내지 준고결 상태의 쇄설성 퇴적층이 분포한다. EL. -19.0~-24.5 m 구간의 미고결 모래층, EL. -28.0~-37.5 m 구간의 유리질 쇄설암, EL. -42.5~-49.0 m 구간의 파쇄

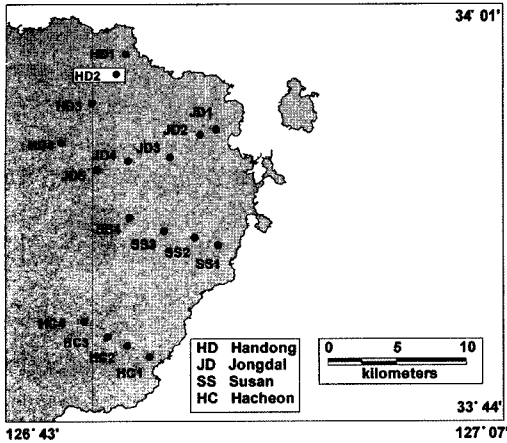


Fig. 2. Map showing seawater intrusion monitoring network in the eastern Jeju and location of the HD2 well.

가 심한 현무암 그리고 파쇄대와 모래, 자갈층으로 구성된 EL. -73.0 ~ -136.0 m 구간이 주요 대수층으로 추정된다 (윤정수 외, 2003).

HD2호공의 지하수위 조석효율은 약 22%인 것으로 평가되며 (이봉주 외, 2006), EL. -35 m 부근까지는 전기전도도 1,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이하의 값을 나타내는 담수지하수체가 부존하고 있으나 EL. -35 m에서 -75 m까지의

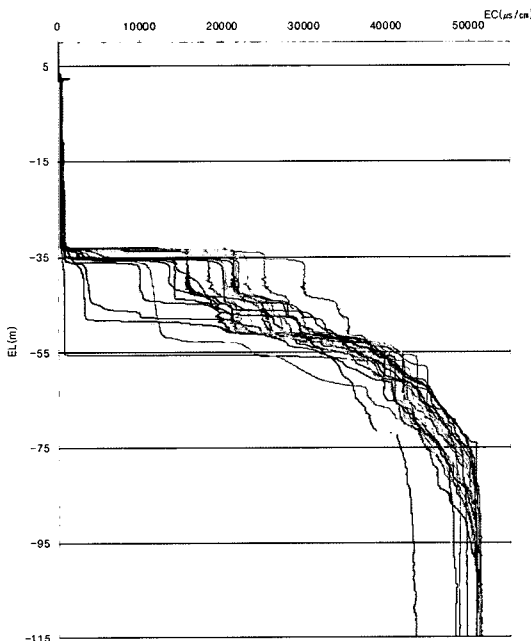


Fig. 3. Vertical profiles of EC logged intermittently in the HD2 well from 2001 to 2007.

심도에서는 전기전도도가 단계적으로 증가하는 양상을 보여 준다. EL. -75 m에서 EL. -115 m 심도까지의 전기전도도는 48,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  내외로 나타난다. 이로 보아 담염수 경계면은 EL. -35 m 부근에 형성하고 있는 것으로 판단된다. 전기전도도 변화폭이 가장 크게 나타나는 구간은 평균해수면 하 40 m 부근으로 변화 범위는 1,700 ~ 31,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ (변동 폭 29,300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )로 관측되었다 (Fig. 3).

### 지하수 샘플링

관정내 목적 심도의 지하수를 목적 시간에 채수하기 위해서는 샘플러를 목적 심도에 설치할 때까지 그리고 설치 이후 샘플링 시작 전까지 샘플링에는 지하수가 유입되지 않아야 하며, 목적 시간이 되어 샘플링을 시작하면 신속한 시료 채취가 가능하여야 한다. 샘플링 완료 이후 샘플러를 지상으로 인양할 때에도 목적 심도 상위의 지하수가 샘플링으로 유입되지 않아야 한다. 이 연구에서는 이를 평가하기 위해 샘플러 외부와 샘플러 내부, 즉 샘플링 안에 Van Essen Instruments 사의 100 m

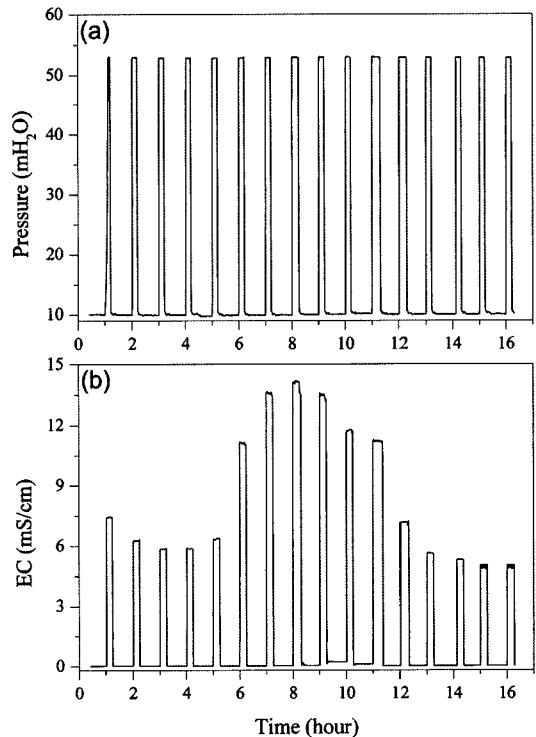


Fig. 4. Variations in physico-chemical parameters measured at the inside of the sampler. (a) absolute pressure, (b) electrical conductivity.

용 CTD diver를 장착하여 샘플링 과정에 따른 압력 변화와 전기전도도 변화를 모니터링하였다. 측정 간격은 30초로 설정하였다. HD2호공에서 전기전도도 변화 폭이 가장 큰 지표하 83 m 깊이 (해발고도 -39 m)에 지하수 샘플러를 설치하였다. 관정내 지하수 시스템이 안정되기를 기다린 후에 샘플러의 실린더에 가스압 (질소)을 공급하였다. 가스압 공급은 매시 정각에 이루어졌으며, 지하수가 샘플병으로 충분히 유입되도록 10분 동안 가스압 공급을 유지하였다. 10분이 경과한 후, 가스압 공급을 중단시키고 공압 튜브의 밸브를 개방하여 튜브 내의 가스압을 해제하였다. 샘플러의 주사기 바늘이 샘플병으로부터 완전히 분리될 때까지 약 2분을 기다린 뒤 샘플러를 지상으로 인양하였다. 채취된 지하수 시료를 샘플병으로부터 회수하고 샘플병 상단의 고무마개를 새 것으로 교체하여 샘플러를 재결합하였다. 샘플러를 관정내 동일 심도에 재설치한 후, 전술한 과정을 반복하여 16개의 지하수 시료를 연속 채취하였다. 지하수 시료 회수와 관정내 재설치까지 약 10분이 소요되었다.

**결과 및 토의**

Fig. 4-(a)는 샘플병 내부의 CTD diver에 기록된 샘플링 기간동안의 압력 변화로서 샘플링 단계별 샘플병 내부의 압력 변화를 잘 보여주고 있다. 여기서의 압력은 대기압과 계기압력의 합인 절대 압력을 의미한다. 관정내 목적 심도에 샘플러를 설치한 다음부터 지하수 샘플링 시작 전까지는 지상의 대기압이 샘플러 내부에서도 유지되고 있음을 보여준다. 샘플링이 시작되면 샘플병 내부의 압력은 샘플러 외부 압력, 즉 샘플러 설치 심도의 압력까지 급격하게 증가하여 일정 압력을 유지하는 양상을 보인다. 주사기 바늘을 샘플병으로부터 분리시킨 다음 샘플러를 지상으로 인양하여 밀봉된 샘플병을 개방시키면 샘플병 내부의 압력은 급격히 감소하여 지상의 대기압을 반영하는 양상을 보인다. CTD diver 관측 자료로부터 샘플병 내부 압력이 급격히 증가하는 시점이 시험기간 동안의 매시 정각인 것으로 확인되며, 이는 샘플러에 가스압을 공급한 시각과 일치한다. 이와 동일한 변화 양상이 Fig. 4-(b)의 샘플병 내부의 전기전도도

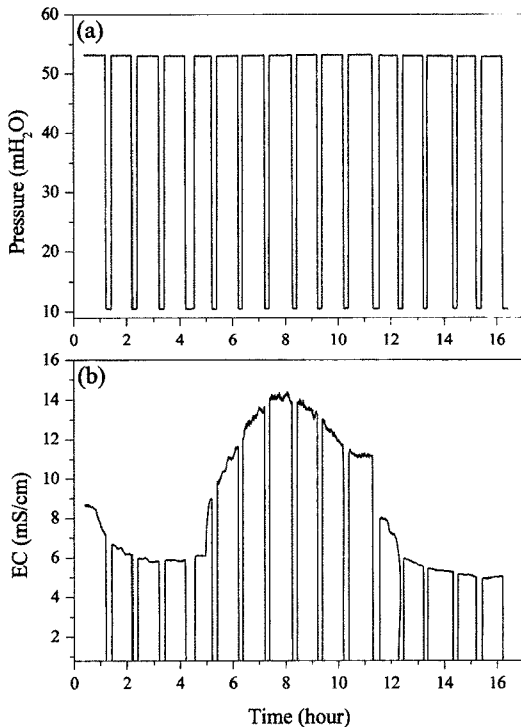


Fig. 5. Variations in physico-chemical parameters measured at the outside of the sampler. (a) absolute pressure, (b) electrical conductivity.

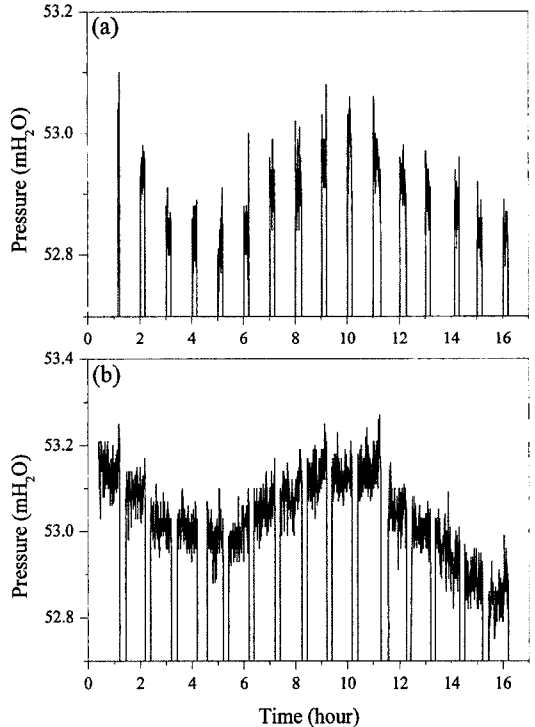


Fig. 6. Tidal fluctuations of absolute pressures by oceanic tide. (a) pressure measured at the inside of the sampler, (b) outside of the sampler.

관측자료에서도 확인된다. 시험 기간동안의 샘플병 내부의 압력과 전기전도도 변화 시점이 일치하고 있음이 확인된다. 이는 이 연구에서 제안한 샘플러를 이용하여 지하수를 샘플링할 경우, 샘플링 시간 제어가 가능함을 명백하게 지시한다. 즉 관정내 원하는 심도의 지하수를 원하는 시간에 샘플링할 수 있음을 의미하며, 추후 다수 공을 대상으로 한 지하수 샘플링시 샘플링의 동기화(synchronization)에 기여할 것으로 평가된다.

Fig. 5는 샘플링 단계별 샘플러 외부에서의 압력과 전기전도도 변화를 나타낸 것으로 샘플러가 지상에 머물렀던 기간을 제외하면 HD2호공내 목적 심도의 조석에 의한 압력과 전기전도도 변화를 반영한다. 이들의 변화 양상은 샘플병 내부의 압력과 전기전도도 변화와 매우 유사하며, 해양 조석에 의한 압력 및 전기전도도의 조석 변동 현상도 뚜렷하게 나타난다.

Fig. 6은 Fig. 4와 Fig. 5의 샘플병 내부와 외부의 압력 변화를 보다 구체적으로 나타낸 것으로 샘플병 내부와 외부의 압력 변화 양상과 변화 폭 그리고 변화 크기가 거의 일치하고 있음을 보여주며, 이는 샘플병 내부의 지하수 시료가 샘플러 설치 심도의 지하수로부터 샘플링 되었음을 지시한다.

Fig. 7은 샘플병 내부와 외부의 지하수 전기전도도 변

화를 나타낸 것으로 샘플병 내부와 외부의 전기전도도 변화 양상과 변화 폭 그리고 변화 크기가 거의 일치하고 있음을 보여주며, 이 역시 샘플병 내부의 지하수 시료가 샘플러 설치 심도의 지하수로부터 샘플링 되었음을 지시한다. 샘플러 내부의 전기전도도 평균값과 샘플링 시점의 샘플러 외부의 전기전도도와 관계 (Fig. 8) 역시 연속적으로 행해진 샘플링에 의해 구해진 지하수 시료들이 각 샘플링 시점의 관정내 목적 심도의 지하수와 동일하다는 사실을 명확히 보여주고 있다.

## 결론

관정내 지하수를 강제 배출하지 않으면서 공기 접촉과 휘발성 성분의 손실에 의한 지하수 시료의 화학 성분 변화를 가능한 한 최소화하는 것을 목표로 하여 지하수 샘플러를 설계하여 개발하였다. 우선 해양 조석의 영향을 받고 있는 것으로 알려진 제주 동부지역의 HD2호공을 대상으로 샘플러를 시험 평가한 결과, 우선 샘플러 내부의 압력 및 전기전도도 변화 시점이 지상에서의 가스압 공급 시점과 거의 일치하는 것으로 확인되었다. 이는 원하는 시간에 목적 심도의 지하수를 샘플링할 수 있음을 의미하며, 추후 다수 공을 대상으로 한 지하수

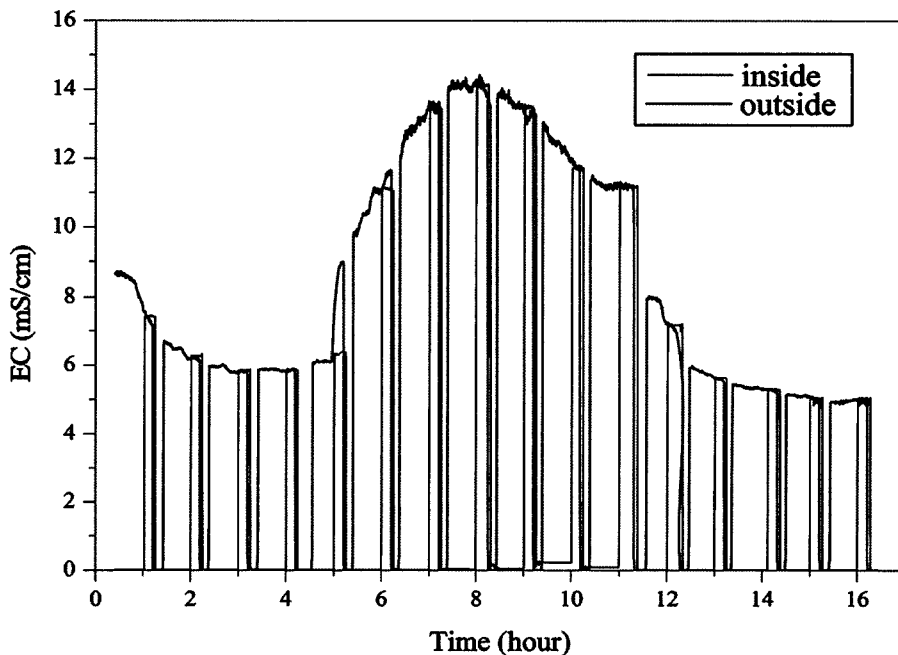


Fig. 7. Variations in electrical conductivities measured at the inside and outside of the sampler.

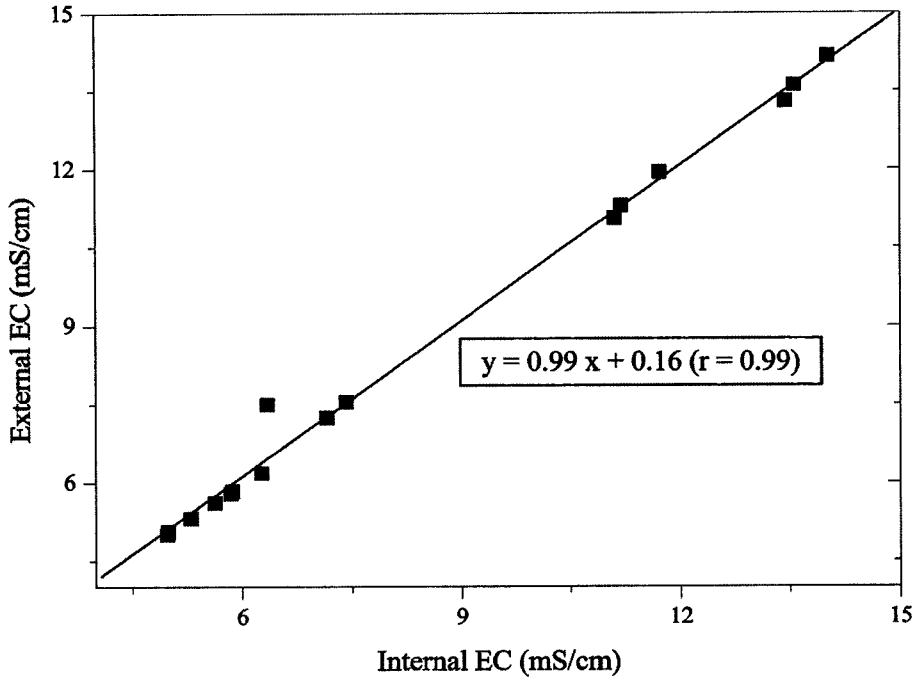


Fig. 8. Correlations between electrical conductivities measured at the inside and outside of the sampler.

샘플링시 샘플링의 동기화(synchronization)에 기여할 것으로 평가된다. 둘째, 샘플러 내부의 전기전도도 평균값과 샘플링 시점의 샘플러 외부의 전기전도도의 1:1 대응관계는 해양조석의 영향을 받는 HD2호공의 시간에 따른 압력 및 전기전도도 특성을 반영하고 있는 것으로 해석되며, 샘플링 시간대별로 채수된 지하수 시료들이 샘플러 설치 심도의 샘플링 시간대의 지하수 수질을 정확하게 반영하고 있음을 지시한다. 이러한 연구 결과들은 이 연구에서 제안된 지하수 샘플러가 다양한 수리지질학적 응용 분야에의 활용 가능성을 지시한다.

사 사

이 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-2-3)에 의해 수행되었다. 도움을 주신 정교철 편집위원장님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

이봉주, 고기원, 문상호, 박윤석, 임무택, 2004, 지하수위 조석변동 특성에 근거한 해수 유입 진단. 지질학회지 40, 53-64.

이봉주, 구민호, 박윤석, 고기원, 박기화, 2006, 제주 동부지역의 수리확산계수와 지하수 도관 유동 가능성. 지질학회지 42, 439-454.  
 윤정수, 김기표, 정차연, 2003, 제주도 동부 한동리지역 고염분 지하수에 대한 수리지질학적 연구. 지질학회지 39, 115-131.  
 Parker, L.V., 1994, The effects of groundwater sampling devices on water quality: A literature review. Ground Water Monitoring and Remediation, 141, 130-141.  
 Parker, L.V. and Clark, C.H., 2002, Study of five discrete interval-type groundwater sampling devices. US Army Corps of Engineers Technical report ERDC/CRREL TR-02-12, 50p.

2008년 8월 30일 원고접수, 2008년 9월 17일 게재승인

**이봉주**

한국지질자원연구원 지하수지열연구부  
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3073  
Fax: 042-863-9404  
E-mail: lbj@kigam.re.kr

**문상호**

한국지질자원연구원 지하수지열연구부  
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3372  
Fax: 042-863-9404  
E-mail: msh@kigam.re.kr

**김기표**

제주특별자치도 환경자원연구원  
690-702 제주특별자치도 제주시 문연로 12(연동 322-1)  
Tel: 064-710-6088  
Fax: 064-710-6068  
E-mail: andwater@naver.com

**김용철**

한국지질자원연구원 지하수지열연구부  
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3086  
Fax: 042-863-9404  
E-mail: yckim@kigam.re.kr

**김용제**

한국지질자원연구원 지하수지열연구부  
305-350 대전광역시 유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3378  
Fax: 042-863-9404  
E-mail: yjkim@kigam.re.kr

**고기원**

제주특별자치도 환경자원연구원  
690-702 제주특별자치도 제주시 문연로 12(연동 322-1)  
Tel: 064-710-6086  
Fax: 064-710-6068  
E-mail: lavakoh@hanmail.net