

## 부산지역의 해저용출수 전기비저항탐사

### Resistivity Exploration of Submarine Groundwater Discharge in Busan Area

박준규<sup>1)</sup>, Jun-Kyu Park, 김성욱<sup>2)</sup>, Sung-Wook Kim, 이진혁<sup>3)</sup>, Jinhyuk Lee, 김인수<sup>4)</sup>, In-Soo Kim

<sup>1)</sup> (주)지아이, 지반정보연구소 차장, Senior manager, Geo-Information Research Group Co., Ltd.

<sup>2)</sup> (주)지아이, 지반정보연구소 대표, CEO, Geo-Information Research Group Co., Ltd.

<sup>3)</sup> 부산대학교 지질학과 석사과정, Master's course, Dept. of Geology, Pusan National University

<sup>4)</sup> 부산대학교 지질학과 교수, Professor, Dept. of Geology, Pusan National University

**SYNOPSIS** : This study selected the promising area of submarine groundwater discharge(SGD) that flows into the sea following unconfined physical aquifer through the electrical resistivity survey of the land and sea. The submarine groundwater discharge(SGD) mostly flows into the sea following fracture zones, and the detection of the fault zone becomes the important guideline of groundwater discharge. Electrical sounding of the land assessed the groundwater flow and integration possibility according to the location of a fault that is a water path between underground reservoir and surface water as well as a rock fracture. In addition, the study conducted sea electrical resistivity to expand the area with high potential and selected the expected water potential groundwater area. The areas of the study were Busan and coastal areas, and for the terrain analysis, the candidates of the ground exploration were selected after analyzing lineaments that is expanded to coast direction.

**Keywords** : submarine groundwater discharge(SGD), fault zone, electrical resistivity

## 1. 서론

대도시 지역에서 가용할 수 있는 수자원의 부족이 심화되고 있고, 수질과 수량면에서 우수한 새로운 담수 수자원 확보의 필요성이 증대되고 있다. 해안지역에 발달하는 해저용출수는 자유면 대수층에서 재순환된 해수와 혼합되어 수심이 얇은 지역으로 유출되며, 피압대수층의 균열을 따라 대륙붕 퇴적물로 유출되거나 암석의 단열을 따라 해저용천수의 형태로 유출된다.

본 연구는 육상과 해상의 물리탐사를 통해 부산시 일원에서 자유면 대수층을 따라 해양으로 유입되는 해저용출수의 산출 가능성과 산출지점, 그리고 해안지역의 특성을 고려한 수자원 조사기술을 평가하기 위해 수행되었다.

## 2. 연구방법

해저용출수의 통로가 되는 단층대의 탐지는 용출수 산출의 중요한 지침이 되며 지하 저류층과 지표 간의 용수 통로가 되는 단층과 지하수 유동과 집적 가능성을 평가하기 위한 방법으로 물리탐사 방법으로 전기비저항탐사를 실시하였다.

### 2.1 탐사원리

물질은 종류에 따라 고유한 범위의 전기비저항을 가지며, 이러한 비저항은 여러 지질현상에 의해서도

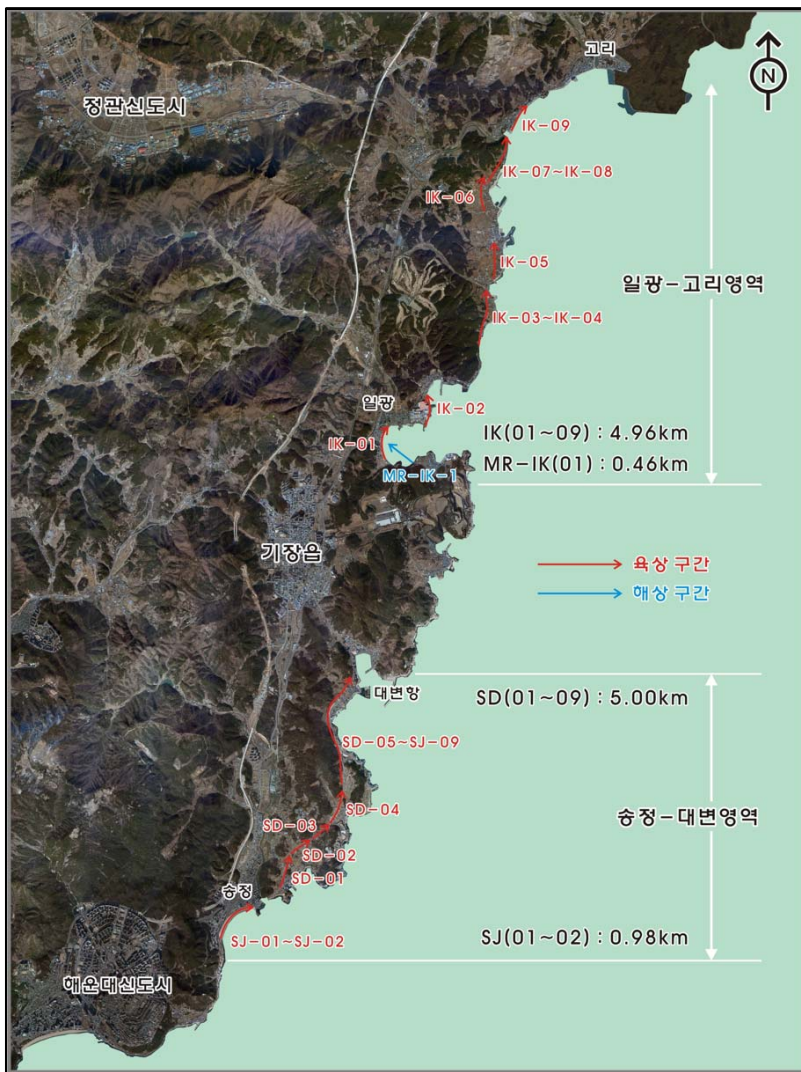
영향을 받게 된다. 그 중 대표적인 것으로 암석의 공극률, 암석의 유체함량 및 공극의 연결성(투수성), 지온농도와 온도 등이 있다. 또한 지하암반의 파쇄대와 균열대 등의 지질구조들도 지하수의 유동 통로가 되어 전기비저항치를 낮추게 된다. 이러한 이유로 주변 암석과 상이한 비저항을 갖는 지하구조를 찾는 목적으로 전기비저항탐사가 이용된다.

본 연구와 같이 해안에 인접한 육상에서 용출수의 유출 통로가 되는 단열은 낮은 저항이 예상되며, 해상의 경우 담수의 용출수는 염수에 비해 높은 저항을 보이므로 상이한 전기적 성질에 기초한 비저항 분포로부터 광역적인 지하수 흐름을 파악할 수 있다.

효과적인 전기비저항탐사를 수행하기 위해서는 통상 4전극법이 이용되며 본 연구 대상 구간의 경우 여러 전극배열방법 중 쌍극자 배열법(dipole-dipole array)을 적용하였다.

## 2.2 탐사축선의 선정

탐사축선은 그림 1과 같이 부산지역의 동부 해안의 지형에 기초한 선구조를 분석하여 육상탐사 후보지를 선정하였으며, 육상탐사의 결과로부터 해저로 연장되는 비저항 이상대의 연장 방향에 대해 해상에서 비저항탐사를 실시하여 용출수 부존이 예상되는 지점을 선정하였다.



축선	연장
SJ-01	580m
SJ-02	580m
SD-01	480m
SD-02	580m
SD-03	520m
SD-04	520m
SD-05	580m
SD-06	580m
SD-07	580m
SD-08	580m
SD-09	580m
IK-01	580m
IK-02	380m
IK-03	580m
IK-04	560m
IK-05	560m
IK-06	560m
IK-07	580m
IK-08	580m
IK-09	580m
MR-10	460m

그림 1 탐사축선의 위치

### 3. 탐사 결과

전기비저항 분포는 육상과 해상을 구분하였으며, 육상부는 남부의 송정-대변 지역과, 북부의 일광-고리 지역으로 구분하여 해저용출수 흐름이 관찰되는 결과를 선별하여 제시하였다.

#### 3.1 육상탐사: 송정-대변

송정해수욕장의 전기비저항 분포(SJ-01 - SJ-02)에서 기반암은 심도에 비례하여 비저항이 증가하며, 백사장이 위치한 지역은 해수의 직접적인 영향으로 5.0(Ohm-m)이하의 낮은 비저항으로 관찰되며, 수직으로 연장 발달하는 일광단층(A)과 단층에 수반된 단열(B)이 관찰된다(그림 2).

대변항 일원의 비저항단면(SD-5 - SD-9)에서 A, B지점은 동-서 내지 동북동-서남서 방향의 선구조의 통과 위치와 동일한 지점에서 100m 내외의 심도에서 파이프 형태의 저비저항대가 관찰되며, 저비저항대의 상부와 주변은 고비저항이 발달하고 있어 두 지점에서 관찰되는 저비저항 이상대는 해수로 유입되는 지하수에 의한 것으로 추정된다(그림 3).

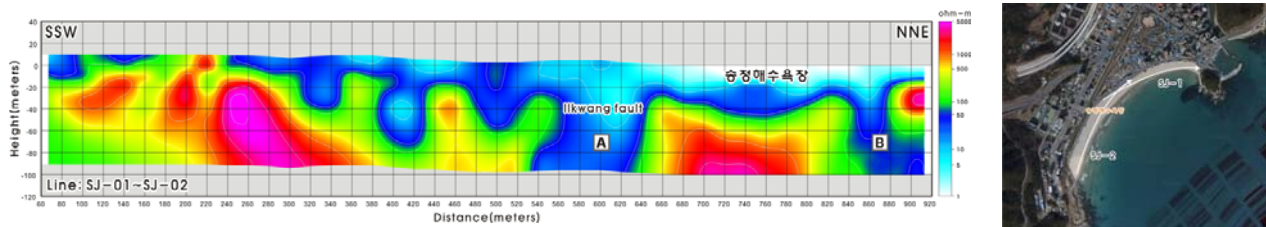


그림 2 송정 지역 전개측선의 비저항 분포

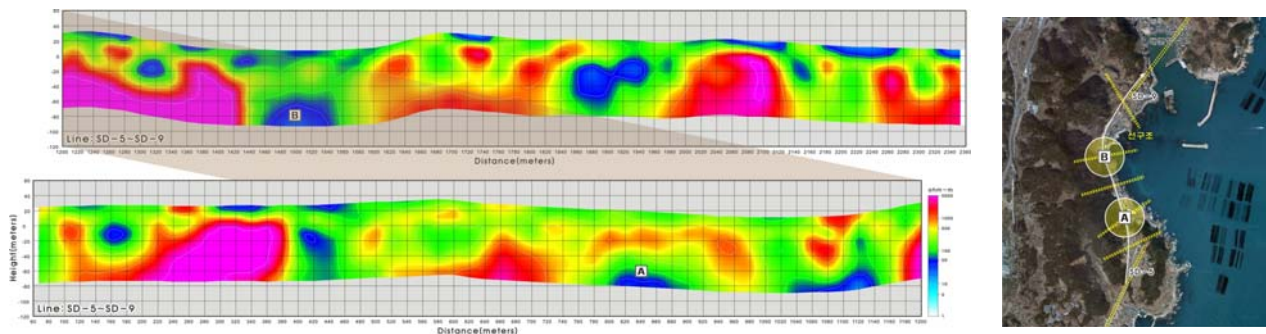


그림 3 대변 지역 전개측선의 비저항 분포

#### 3.2 육상탐사: 일광-고리

그림 4는 일광해수욕장 북부에서 실시한 전기비저항 탐사의 결과로 IK-03 - IK-04 단면의 A, B 지점에서 60m 내외의 심도에서 환상의 저비저항대가 관찰된다. A는 요철지형에 해당하며, 30-50(Ohm-m) 범위의 비저항대로 담수에 의한 저비저항 이상대로 추정된다. B는 1.0-5.0(Ohm-m) 범위의 매우 낮은 비저항대가 지표 인접부까지 연장되고 있어 해수가 유입되는 단열대로 파악된다.

고리지역의 임랑해수욕장 남부에서 실시한 전기비저항 분포(그림 5)에서 A지점은 50m 정도의 심도에서 주변에 비해 비저항이 낮은 파이프 형태의 이상대가 관찰되며, 저비저항대의 규모는 40-100m에 걸쳐 나타난다.



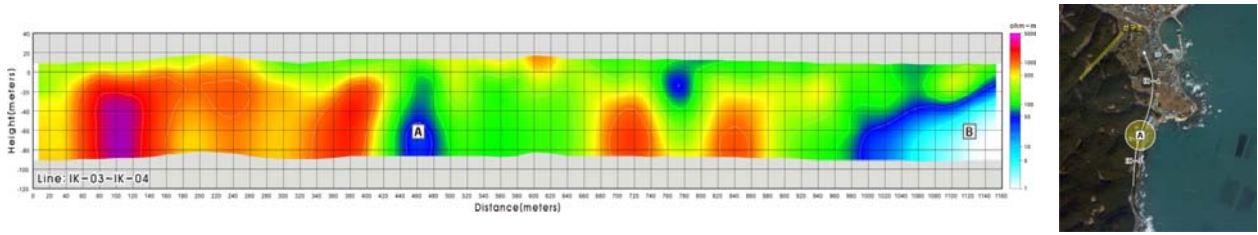


그림 4 일광 지역 전개측선의 비저항 분포

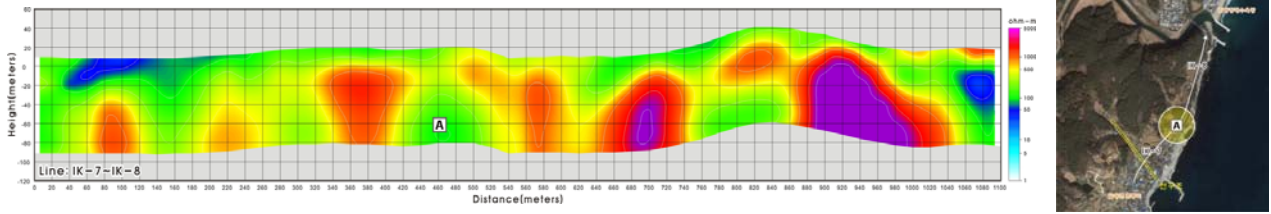


그림 5 고리 지역 전개측선의 비저항 분포

### 3.3 해상탐사

해상부의 전기비저항 탐사는 육상부와 동일한 조건으로 하였으며, 전극은 해저면에 접지하여 비저항을 측정하였다(그림 6). MR-IK-1은 일광만을 북동-남서 방향으로 통과하는 선구조와 교차하는 방향으로 전개한 측선의 결과로 그림 7의 A지점은 단층으로 해석되며 하부로 갈수록 비저항이 점이적으로 증가하는 것으로 볼 때 단층으로부터 유출되는 해저로 유입되는 용천수 형태의 지하수 유입이 발생하는 지점으로 추정된다.



그림 6 해상탐사 측선의 전개 현황

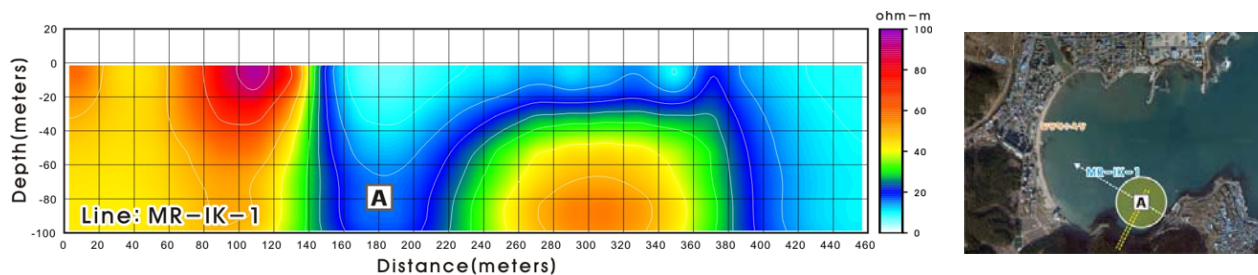


그림 7 일광만변 지역의 해상 전개측선의 비저항 분포

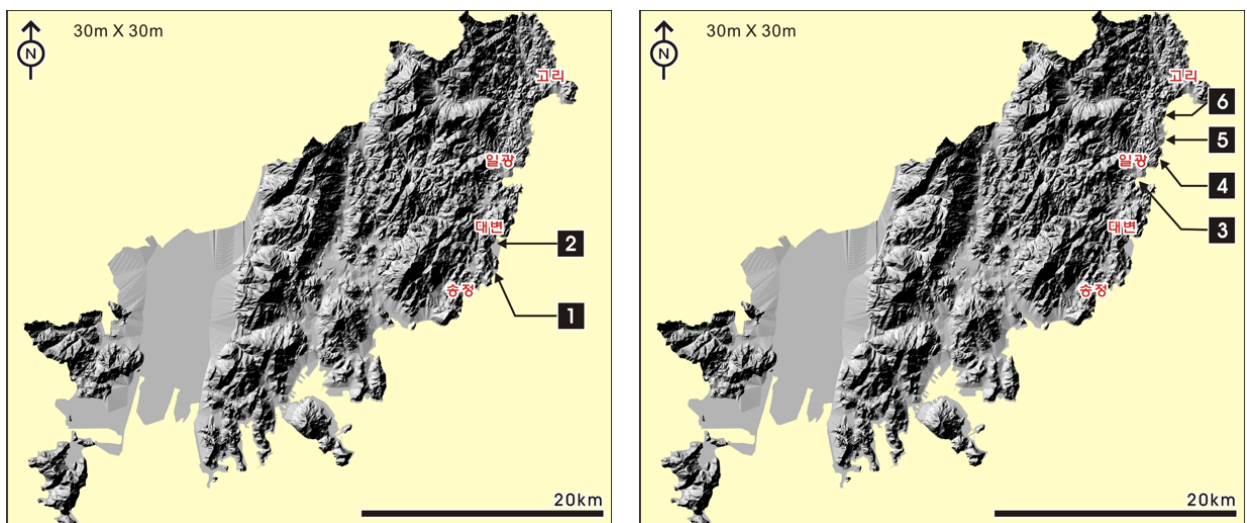
### 3.4 해저용출수 부존 위치

부산시 동부 해안을 따라 전개한 21개의 비저항 단면도를 분석하여 6개 지점에서 지하수의 해저 유출이 예상되는 지점을 선정하였다. 해저용출수의 산출이 예상되는 지점의 비저항은 50-100m 이하의 심도에서 발달하며, 지표수의 유입으로 지표에서부터 저비저항으로 표현되는 파쇄대와 달리 상부와 주변이 높은 저항대로 피복되어 있는 파이프 형태의 저비저항대로 구분된다. 비저항대의 규모는 40-100정도이며, 본 조사에서 파악된 용출수 부존 지점의 연장 방향에 대해 해상 전기비저항 탐사를 계획 중에 있다.



그림 8 해저용출수 부존 예상 위치

해수의 직접적인 영향을 받는 해수욕장은 매우 낮은 비저항을 보이며, 용출수가 유출되는 것으로 평가된 부분은 이보다 높은 비저항을 나타낸다. 용출수 부존 예상지역은 남부의 송정-대변에 비해 북부의 일광-고리에서 빈도수가 증가하며, 송정-대변 지역은 선구조 통과위치와 부존 예상위치가 동일한 반면 일광-고리 지역은 선구조가 관찰되지 않는 지점에서 용출수로 추정되는 저비저항대가 관찰된다.



(a) 송정-대변 지역

(b) 일광-고리 지역

그림 9 부산 동부 해안의 해저용출수 부존 예상 위치

#### 4. 토의 및 결론

양질의 담수 수자원을 확보하기 위한 방안으로 해안과 인접한 지역에서 해저로 용출되는 지하수의 부존과 평가기법 마련을 위해 전기비저항 탐사를 실시하였다. 측정위치의 선정은 단열과 선구조에 의한 비저항의 영향이 반영되도록 지형과 지표지질 분석을 통해 선밀도와 단열의 연장 방향을 선정하였다.

부산시 동부 해안지역을 대상으로 21개 측선 11.580m를 전개하여 비저항단면을 작성하였고, 측정된 전기비저항에서 해수욕장과 같이 해수가 직접 유입되는 지역은 1.0(Ohm-m)이하의 낮은 비저항으로 주변과 뚜렷하게 구분된다. 해안과 인접한 위치에서 지표수가 수렴되는 단열과 선구조는 지표에서부터 지하로 저비저항대가 연속적으로 발달하는 반면 지하수의 광역적인 흐름으로 판단되는 저비저항대는 20-100(Ohm-m)정도의 비저항과 상부와 측방이 고비저항으로 피폭되어 파이프 형태의 저비저항 이상대로 관찰된다.

해상탐사에서 일반적인 단열은 해수 유입으로 심도에 따른 비저항의 변화가 거의 나타나지 않는 반면 용출수가 유출되는 것으로 평가되는 단열은 심도에 비례하여 비저항이 증가되는 경향을 나타낸다.

이상과 같은 방법으로 연구지역에서 6개소의 해저용출수의 부존 예상 위치를 선정하였다. 향후 선정된 위치의 연장 방향에 대한 해상탐사와 수질분석 및 시추조사가 예정되어 있어 해저용출수 부존을 위한 물리탐사와 자료의 평가 방법에 정보를 제공할 수 있을 것이다.