

## 수리시설물의 유지관리를 위한 비저항/SP 모니터링기법 연구

박삼규<sup>1)</sup>, 김정호<sup>1)</sup>, 서구원<sup>2)</sup>, 원종근<sup>2)</sup>, 김병호<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국지질자원연구원 지반안전연구부, [samgyu@kigam.re.kr](mailto:samgyu@kigam.re.kr)

<sup>2)</sup>농업기반공사 환경지질사업처

### Application of Resistivity/SP Monitoring Technique to Maintenance of Water Utilization Facilities

Sam Gyu Park<sup>1)</sup>, Jung Ho Kim<sup>1)</sup>, Goo Won Seo<sup>2)</sup>, Jong Geun Won<sup>2)</sup>,  
Byung Ho Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Geotechnical Engineering Div., KIGAM

<sup>2)</sup>Office of Environment Geology, KARICO

**요약** : 이 논문에서는 수리시설물을 효율적으로 유지관리하기 위하여 저수지 및 방조제 체체에 계측 시스템을 설치하고, 전기비저항, SP, 수위, 간극수압 및 지중변위를 주기적으로 모니터링하여 그 결과를 분석함으로써 체체의 누수현상 및 안정성 평가를 시도하였다. 저수지 및 방조제의 체체에 설치된 전기비저항/SP 측정 시스템으로부터 측정한 각 단계별 측정 자료의 변화영상을 구하고, 변화추이를 비교분석함으로써 누수현상을 정확하게 파악할 수 있었고, 수위, 간극수압 및 지중변위량의 자료를 종합적으로 해석함으로써 체체의 안정성을 평가할 수 있었다. 이러한 결과로부터 종래의 일시적으로 실시한 물리탐사 결과로부터 누수현상을 파악하는 것보다 모니터링 계측시스템을 설치하여 운용하는 것이 수리시설물을 효율적이고 경제적으로 유지관리하기 위한 방법임을 알았다.

**주요어** : 체체, 누수탐지, 전기비저항, 모니터링 계측시스템

**Abstract** : The subject of this paper is research into the application of resistivity/SP monitoring to detecting the water leakage of water utilization facilities. For this purpose, we installed a comprehensive monitoring system consisting of resistivity/SP measurement, inclinometer, piezometer, and water gauge at an embankment. Using this monitoring system, we monitored the various kinds of measurement data and compared the resistivity structures and SP variations that of hydrological and engineering data in order to investigate the water leakage and stability of the embankment. The variations of resistivity and SP at the embankment were provided from the monitoring data and we could accurately locate the portions of which resistivities and SP have sharply changed. Furthermore, we could estimate the stability of the embankment more effectively and quantitatively by jointly interpreting the monitoring data of resistivity and SP, water level, pore water pressure, and subsurface displacement. The monitoring experiments in this study led us to the conclusion that for the efficient maintenance of the water utilization facilities, monitoring

the resistivity and SP data would be much more preferable to performing the just one-time measurements.

Keywords : embankment, water leakage detection, electrical resistivity, monitoring measurement system

## 1. 서론

옛날부터 우리나라는 농경문화가 발달되어 농업용수를 확보하기 위한 많은 저수지를 축조해 왔다. 현재는 축조 후 오래된 수리시설물이 많고, 이들 대부분의 제체가 노후화 되어 누수현상으로 그 안정성이 우려되고 있는 실정이다. 저수지의 경우 17,913개소 중 9,706개소(54%)가 해방이전에 축조된 시설물로 상당히 노후화 되어 있으며, 매년 수리시설물의 피해 규모가 점점 증가하고 있는 실정이다.

수리시설물의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 누수현상은 제체 전면에 걸쳐 일어나기보다는 국부적으로 일어나는 경우가 대부분이고, 제체의 파괴나 대규모 누수 등에 의한 재해에 직접적으로 영향을 미치는 침투수는 층상으로 존재하기보다는 수맥 상으로 존재하는 경우가 많다(박삼규·김희준, 1999). 수맥은 평상시에는 주변의 제체에 아무런 영향을 미치지 않지만, 집중호우나 태풍 등으로 수위가 급상승하게 되면 수맥 내의 수압도 상승한다. 이러한 수맥 내의 수압 상승은 수맥을 둘러싸고 있는 체류성의 물을 매개로 하여 주변토괴에 높은 간극수압을 발생시키고 국부적으로 흙 입자의 이동을 일으킨다. 이러한 현상을 파이핑(piping)이라 부르는데, 발생초기에는 국부적으로 일어나지만 점차적으로 대규모의 누수 및 제체의 파괴로까지 발전하여 큰 재해를 유발시킨다. 수리시설물 제체의 누수현상을 탐지하기 위해 각종 물리탐사법이 적용되고 있는데 국내에서는 주로 전기비저항탐사가 사용되어 왔다(정승환 등, 1992; 이명종 등, 2000; 송성호 등, 2000, 2001; 박삼규 등, 2002).

물리탐사에 의한 저수지의 누수탐지는 일시적으로 탐사를 실시하여 전기비저항의 분포양상을 해석하여 누수구간을 판정하고 있었지만, 제체의 누수현상에 대해서 정밀하게 분석하여 보수·보강 대책을 세우기에는 부족한 점이 많다. 특히 제체의 중심부는 함수상태가 높은 중심점토의 분포로 저비저항대를 보여 이 구간에 대한 누수여부를 판정하기가 어렵다. 따라서 시추조사와 육안관찰로 누수구간을 확인하여 이들 자료를 종합적으로 해석하여 누수구간을 판정하고 있는 실정이다. 또한 조사 당시 누수현상을 발견한다 하더라도 과거의 누수시기와 앞으로의 누수구간 진행상태에 대해서 예측하기가 어려워 일반적으로 누수구간을 과대하게 설정하여 보수·보강 대책을 세우는 경우가 많아 경제적이고 효율적인 유지관리 기법 개발의 필요성이 요구되고 있다.

이 논문은 수리시설물을 효율적으로 유지관리 하기 위하여 저수지 제체에 계측 시스템을 설치하여 주기적으로 전기비저항, SP, 수위, 간극수압 및 지중변위량의 자료를 모니터링 하고, 그 결과를 분석함으로써 제체 누수현상 등 안정성을 평가한 사례에 대해서 보고하고자 한다.

## 2. 모니터링 시스템 설치

저수지 및 방조제에 정기적으로 실시되는 정밀안전진단은 누수현상 등을 조기에 발견하기 어렵고, 누수현상이 계속 진행됨에 따라 제체의 안정성에도 큰 영향을 미치게 된다. 또한 누수현상이 상당히 진행된 후에 발견이 되면 이를 방지하기 위한 대책 공사비가 증가되어 경제적으로 큰 손실을 가져오게 된다. 이러한 관점에서 볼 때, 노후화된 저수지

및 방조제의 누수현상을 조기에 발견하여 자연재해를 사전에 예방하고, 수리시설물의 보수 및 보강대책을 조기에 수립함으로써 개보수 공사비를 절감하는 유지관리 체계가 절실히 요구되고 있다. 따라서 노후화된 수리시설물을 대상으로 전기비저항, SP 등 계측 시스템을 설치하여 주기적으로 측정된 결과를 비교 분석하여 체체의 누수현상 및 진행 상태를 파악하여 조기에 보수·보강대책을 마련함으로써 자연재해를 사전에 방지 할 수 있을 것이다.

Fig. 1은 저수지 체체에 설치한 전기비저항 시스템을 포함한 계측 시스템을 나타내고 있다. 우선 전기비저항탐사 및 현장답사의 사전 조사를 통하여 전극간격과 계측기의 설치 위치를 결정하였다. 실제 시스템 설치에 있어서는 저수지 체체 상부에

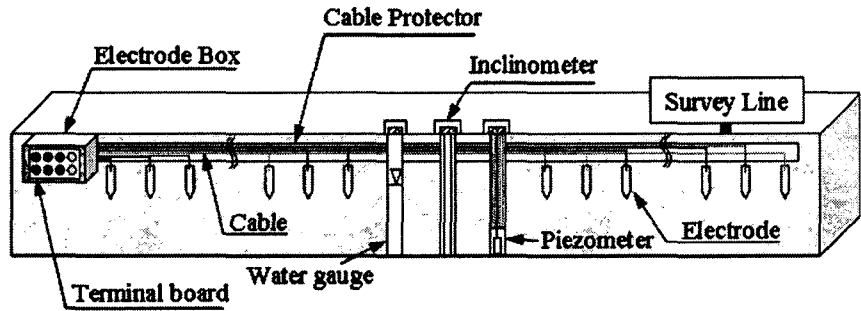


Fig. 1. Schematic view of the resistivity monitoring system in the embankment.

깊이 30 cm로 굴착하여 그 바닥에 전극을 5 m 간격으로 설치하고, 각 전극에 전선을 연결하여 전선보호관을 통하여 터미널보드에 접지시켰다. 전극과 전선의 연결부는 공기와 물에 의한 부식을 방지하기 위하여 Fig. 2와 같이 실리콘으로 절연 및 방수처리를 하였으며, 모든 전극이 설치된 후에 굴착한 흙으로 되 메움을 하였다. 전기비저항 측선상의 계측기는 사전조사에서 체체 중에 누수가능성이 높거나 가장 취약한 부분을 중심으로 수위계, 간극수압계, 지중경사계를 설치했다. 수위계와 간극수압계는 체체 중에 형성되어 있는 침윤선의 수위와 간극수압을 측정하기 위하여 설치했으며, 지중경사계는 누수현상 등으로 체체 사면의 슬라이딩에 의한 지중변위를 측정하기 위하여 설치했다.

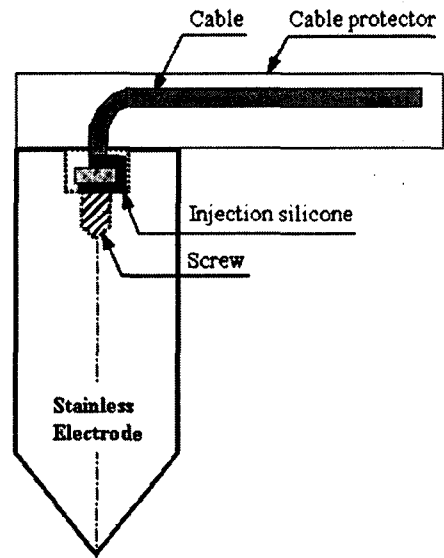


Fig. 2. Connection of the electrode with cable.

방조제의 경우는 Fig. 3에서와 같이 SP 자동 측정 시스템을 설치하였다. 사전조사 결과로부터 해수침투가 우려되는 구간에는 SP 측정 전극을 조밀하게 설치하고, EC 및 수위계를 설치하였다. 건전한 구간에는 해수침투 우려구간에서 측정된 자료를 비교해석하기 위한 참고자료로 활용할 목적으로 전극간격을 넓게 설치했다. 일반적으로 SP 측정에서는 비분극 전극봉을 사용하지만, 이 시스템에서는 장기간에 걸쳐 SP를 측정해야 하기 때문에 내구성 등을 고려하여 저수지 체체에 설치한 전극봉과 동일한 스테인리스 전극봉을 사용했다. SP의 자동측정 시스템 운영에 있어서 1일 측정회수는 2회로 설정하고, 측정 시기는 만조와 간조에 각각 SP를 측정하여 하드디스크의 메모리에 일시 저장하여 전화회선을 이용하여 사무실에서 전송할 수 있도록 했다.

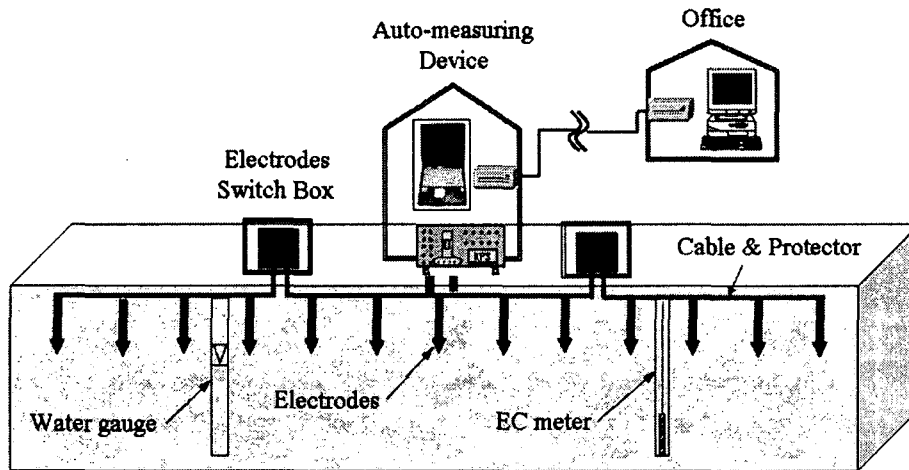


Fig. 3. Schematic view of the SP monitoring system in the sea dike.

### 3. 모니터링 결과 및 해석

저수지의 경우 전기비저항 측정 시스템으로부터 자료를 주기적으로 획득 분석함으로써 제체의 누수현상 및 안정성을 검토하였다. Fig. 4는 3회에 걸쳐 전기비저항을 측정한 결과를 타내고 있다. Phase 1은 2004년 8월 21일, Phase 2는 2004년 10월 4일, Phase 3은 2004년 11월 19일에 전기비저항을 측정하여 얻은 자료를 역해석을 통해 구한 전기비저항 분포도이다. 이들 분포도에 의하면 제체 댐마루에서 지반의 경계부까지 성토로 구성된 층에서는 저비저항대가 형성되어 있으며, 좌측하단에 원 지반으로 판단되는 영역에서는 상대적으로 높은 전기비저항을 나타내고 있다. 또 Phase 1과 Phase 2의 전기비저항 분포도에서는 그 값의 차이가 거의 없지만, Phase 3에서는 전반적으로 전기비저항이 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 전기비저항 변화를 정확하게 분석하기 위하여 Phase 1을 기준으로 Phase 2와 Phase 3에 대해서 전기비저항 변화비를 구하여 Fig. 5에 나타내고 있다.

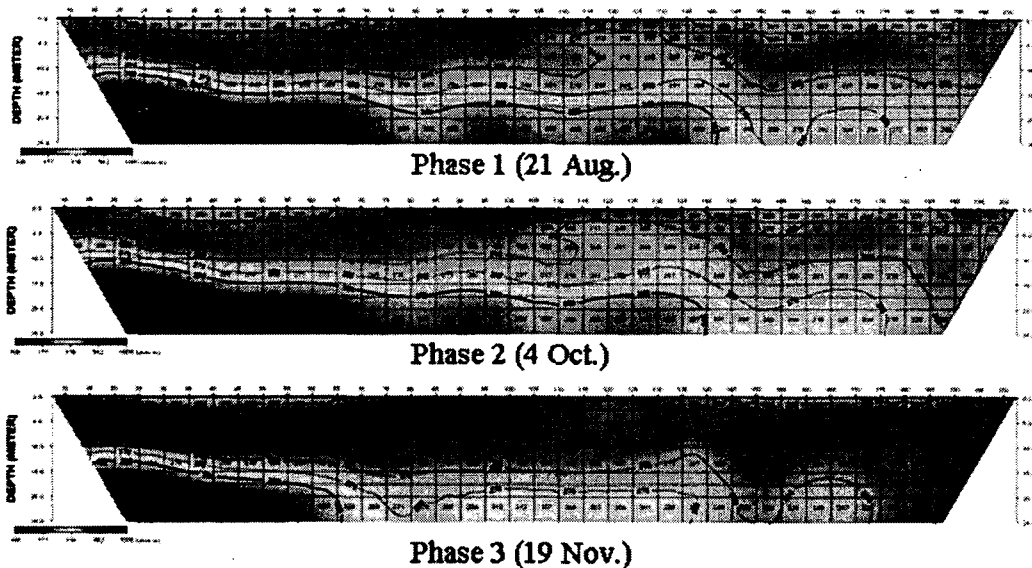


Fig. 4. Resistivity distribution for each phase.

Fig. 5에서 전기비저항의 변화비는 Phase2를 Phase 1로 나눈 것으로 그 값이 1이면 전기비저항의 변화가 없는 것을 의미하고, 1보다 크면 전기비저항이 높아진 것이고, 1보다 작으면 전기비저항이 낮아진 것이다. Phase 2를 Phase 1로 나눈 것을 보면 전체적으로 전기비저항이 거의 변화가 없다. 그러나 Phase 3을 Phase 1로 나눈 것을 보면 전체적으로 전기비저항 변화비가 1보다 작은 값을 나타내고 있어 전기비저항이 감소했음을 알 수 있다. 특히, 측정거리 65~95 m 구간의 성토 층과 지반의 경계부에서는 전기비저항이 약 30% 정도 감소한 것으로 나타난다. 전기비저항이 감소한 것에 대해서는 여러 가지 원인으로 생각할 수 있지만, 제체 전체의 전기비저항이 감소하고 있어 강우나 저수위 상승에 의한 제체의 함수비 변화가 그 원인으로 생각된다.

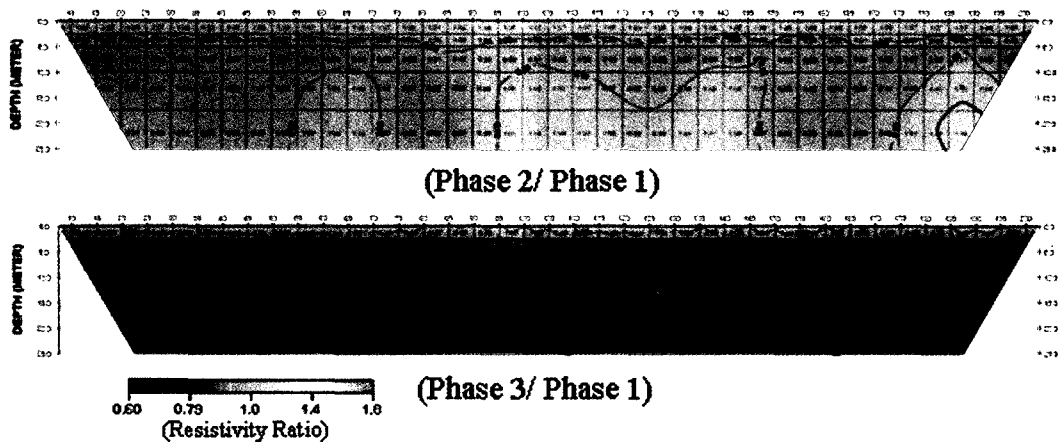


Fig. 5. Ratio of resistivity variations between each phase.

방조제의 경우 SP 자동 측정 시스템으로부터 획득한 자료를 Fig. 6에 나타낸다. 이 그림은 6월 7일~7월 5일까지 1일 2회 측정된 자료이다. 전체적으로 해수면의 변화에 따라 SP가 변동하고 있지만, 측정점 8번과 35~37번의 구간에서는 주변의 SP 측정치보다 낮게 나타난다. 일반적으로 해수가 침투되는 구간은 SP가 상대적으로 낮아지는 점을 고려하면 이들 구간이 해수침투가 예상되는 곳임을 알 수 있다.

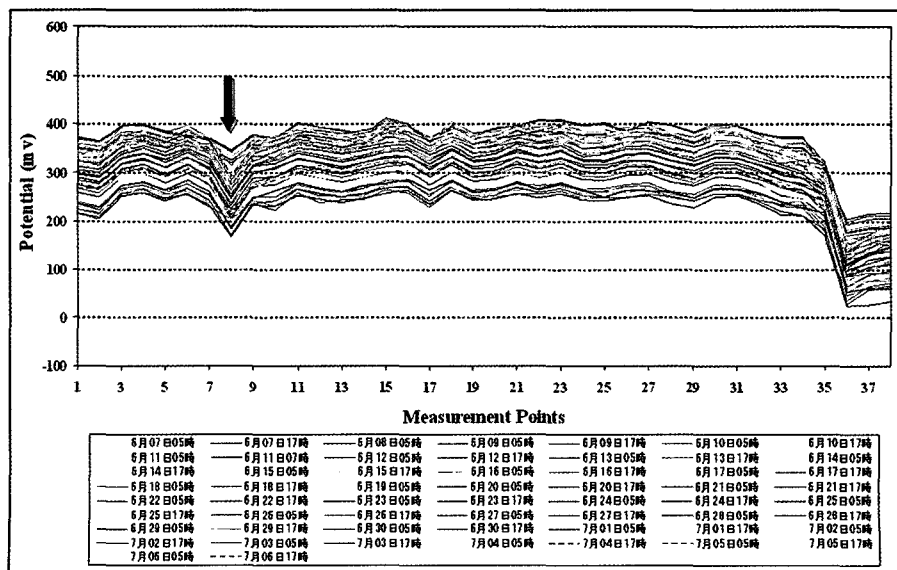


Fig. 6. Result of SP monitoring in the sea dike.

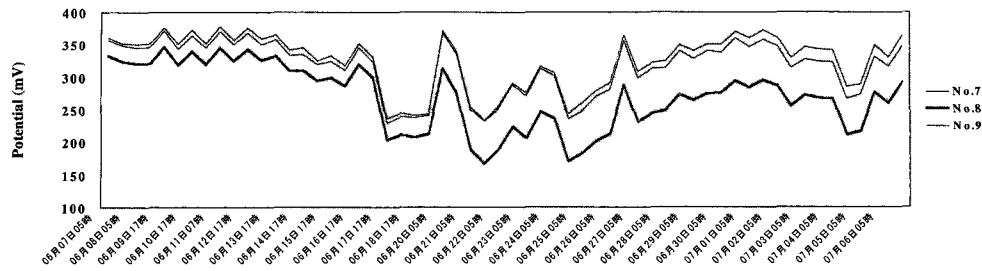


Fig. 7. Comparison between No. 8 and around measurement points for SP variations.

Fig. 7은 1개월간의 측정기간에 있어서 측정번호 8의 SP 변동을 주위의 값과 비교한 것이다. 전체적으로는 SP가 변동하고 있는 것은 해수면의 변화에 기인된 것으로 생각되지만, 측정기간에 따라 No. 8번의 SP 측정치가 주변의 SP 측정치보다 크게 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이러한 원인은 해수면 변화에 따라 제체의 해수침투량이 변화하고 있기 때문으로 해석되면 이곳이 해수침투가 발생되고 있는 구간으로 판단된다.

#### 4. 결론

이 연구는 수리시설물을 효율적이고 경제적으로 유지관리하기 위하여 전기비저항, SP의 계측 모니터링 시스템을 제체에 설치하여 주기적으로 얻은 자료를 분석하여 누수현상 등의 제체 안정성에 대해서 검토했다.

저수지의 경우는 전기비저항을 주기적으로 측정하여 각 주기별 전기비저항의 변화추이를 관찰함으로써 누수구간을 정확하게 파악할 수 있었다. 방조제의 경우는 SP 자동 측정시스템으로부터 1일 2회 SP를 측정하여 시계열 측정치를 비교했을 때, 상대적으로 낮은 SP 측정치가 나타나는 곳이 해수침투의 가능성이 높은 것으로 해석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 제체의 누수구간 판정뿐만 아니라 제체의 지중경사계, 간극수압계 등의 계측결과를 종합적으로 해석함으로써 제체의 안정성까지 평가할 수 있는 기법을 개발하여 수리시설물을 효율적이고 경제적으로 유지관리 할 수 있기를 기대한다.

#### 참고문헌

박삼규, 김희준, 1999, 지온탐사에 의한 저수지 제방의 누수조사, 자원환경지질, 32, 169-175.  
 박삼규, 송성호, 최종학, 최보규, 이병호, 2002, 수리시설물의 누수탐지를 위한 물리탐사의 적용성, 한국물리탐사학회, 제4회 특별 심포지움, 한국과학기술회관, 179-195.  
 송성호, 이규상, 김진호, 권병두, 2000, 방조제 누수지점 탐지를 위한 SP 및 단극배열 전기비저항 탐사의 적용 자원환경지질, 33, 417-424.  
 송성호, 권병두, 최종학, 김경만, 2001, 저수지 누수문제에 대한 수리지질 및 지구물리 방법의 적용: 한국자원공학회지, 38, 292-300.  
 이명중, 김정호, 송운호, 정승환, 2000, 2차원 및 3차원 전기비저항탐사를 이용한 제당 누수조사, 한국물리탐사학회 제2회 특별 심포지움, 농업기반공사, 41-53.  
 정승환, 김정호, 양재만, 한규언, 김영웅, 1992, 전기비저항탐사에 의한 제당의 누수구간 탐지, 지질공학회지, 2, 47-57.