

## 필댐의 3차원 기하 효과에 따른 전기비저항 왜곡 효과 분석

오석훈<sup>1)</sup>, 김형수<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소, [gimul@kowaco.or.kr](mailto:gimul@kowaco.or.kr)

<sup>2)</sup>한국수자원공사 수자원연구원 지하수지반연구소

### Analysis of distortion effect of resistivity data due to 3D geometry of fill dam

Seokhoon Oh<sup>1)</sup>, Hyoung-Soo Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dam Safety Research Center, KOWACO/KIWE

<sup>2)</sup>Groundwater & Geotechnics Research Center, KOWACO/KIWE

**요약 :** CFRD (콘크리트 표면 차수벽형 석피댐)에서 수행한 전기비저항 탐사 결과, 하부에서 매우 낮은 비저항대가 관측되었다. 일반적으로 CFRD 형식의 댐은 내부 포화가 발생하지 않는 것으로 알려져 있으나, 금번 조사에서 하부 20m 깊이에서 일정하게 저비저항대가 발견되어 이에 대한 검토를 위해 3차원 해석을 수행하였다. 탐사 당시의 수위는 댐 정상부에서 10m 정도 내려가 있는 상태였다. 첫 탐사 이후 6개월이 지난 후에 이루어진 탐사에서도 비슷한 양상을 보이고 있었다. 이에 대한 해석을 위해서 조사 댐의 모양을 대상으로 3차원 순산 모델링을 수행하고, 이에 대한 2차원 역산 해석을 적용하여 기존 해석 방법의 오류 가능성을 검토하였다. 또한 비저항 조사가 많이 적용된 중심코아형 댐의 경우의 사례와 비교하였다.

해석 결과, 3차원 댐체 구조에 대한 2차원 역산 해석은 저수부의 수위와 밀접한 관련을 갖는 것으로 보이며, 3차원의 사다리꼴 기하구조로 인하여 댐 내부에 비저항의 이상대가 존재할 경우에도 그 민감도가 떨어지는 것으로 분석되었다.

**주요어 :** 3차원 기하구조, CFRD, 중심코아형 댐, 전기비저항 조사, 저비저항대, 저수위

**Abstract :** Low resistivity zone is observed at the lower part of a CFRD (Concrete Face Rockfill Dam). Generally, CFRD tends not to have any saturated zone within the body, but the result of resistivity survey shows that it is possible for the dam to be saturated under 20m depth with water. The level of reservoir was under 10m from the crest. We suspect that this result may come from the wrong 2D inversion process ignoring the 3D geometry of dams. For the analysis of possibility of distortion by different geometry, we perform the 3D forward modeling for the dam and apply the 2D inversion process. And then we check the point of traditional interpretation of resistivity data.

By the analysis, it is found that the result of 2D inversion process of 3D geometry of dams, seems to have deep relation with the reservoir level, and

the complex 3D structure hide some internal electrical anomaly of dams from resistivity information.

**Keywords** : 3D geometry, CFRD, 2D inversion, reservoir level

## 1. 서론

일반적으로 CFRD 형식의 댐은 상류사면에 콘크리트 페이스를 타설하여 차수를 하고, 댐체는 석괴를 이용하여 쌓아가므로 내부에 포화된 상태가 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구 지역의 CFRD에서는 전기비저항 탐사를 수행한 결과, 하부 20m 깊이에서 일정하게 저비저항대가 나타났다. 이에 대한 면밀한 검토를 위해 3차원 해석 및 이의 2차원 역산을 수행하였다.

댐체에 대한 전기비저항 탐사는 그간 2차원 단면으로 해석을 수행해 온 것이 일반적이다. 이는 3차원 역산 해석이 2차원 단면 해석에 비해 상대적으로 부정확하고 복잡한 결과를 제공하여 분석에 어려움이 있기 때문이며, 분석의 복잡성과 비효율성으로 인하여 대중화되지 못한 탓도 있다. 그러나 2차원 해석의 가정은 댐의 상, 하류 방향에 대해 댐축과 동일한 물성이 무한하게 존재하는 것을 가정하는 것이므로 실제 댐의 모양을 정확히 반영하지 못하는 단점이 있다.

특히 금번 문제의 경우, 탐사 당시 수위는 댐 정상부에서 약 10m 정도 내려가 있는 상태였으므로, 20m 부근에서 나타나는 저비저항대가 3차원의 기하학적 왜곡에 의한 저수부의 효과가 반영된 것인가를 파악하기 위해 3차원 모델링 분석을 수행하게 되었다. 이후의 3차원 모델링에서는 대상 댐의 대표단면과 기하학적 형태를 최대한 고려하여 입력 모델을 작성하였다.

## 2. 현장 탐사 자료

현장 탐사는 2차례에 걸쳐 수행되었으며, 각각 탐사 당시의 수위는 39m (2004년 10월 1차 조사 당시), 33m (2005년 5월 2차 조사 당시)였으며, 댐 정상부의 고도는 49m 이다. 조사 시 기온은 각각 섭씨 18도, 25도 정도였으며, 탐사 전에 일주일간 강우는 없었다. 두 탐사 결과 모두 비슷하게 18~20m 깊이에서 10~30 Ohm-m 정도의 매우 낮은 비저항을 일정하게 나타내고 있었으며, 댐의 우안부 일부를 제외하고는 자료의 질도 매우 양호하였다. 두 탐사에 대한 2차원 역산 해석결과, 전체적인 양상은 매우 비슷하게 나타나고 있었다. Fig.1은 두 번째 탐사 결과에 대한 현장 측정 자료 및 이의 2차원 역산 결과이다.

## 3. 3차원 비저항 반응 모델링

Fig.2는 대상댐의 물성을 반영한 입력 모델을 단순화하여 나타낸 것이다. 전기비저항 탐사 결과 상부의 비저항이 200~300 Ohm-m 정도의 분포를 보였으므로 이를 반영하도록 하였으며, 공기층과 저수부의 비저항을 각각 100,000 Ohm-m와 30 Ohm-m로 하였다.

3차원 전기비저항 모델 반응을 위한 프로그램은 독일 Freiberg 대학의 Spitzer 교수가 제공한 3ddcxh v.6.62를 사용하였으며 (Spitzer, 1995), 격자 구조는  $70(x) \times 56(y) \times 17(z)$ 로 분할하여 모델링을 수행하였다. 본 프로그램을 적용하는 데 있어서 스케일은 실제 댐의 형상과 동일하게 유지되었으며, 경계부에서의 왜곡 현상을 방지하기 위해 x,y,z 방향으로 각각 관심 대상의 크기에 대해 10배 이상 벌려 모델링을 하

필름의 3차원 기하 효과에 따른 전기비저항 왜곡 효과 분석

였다. 3ddcxh 프로그램이 주어진 소스에 대한 포텐셜 만을 제공하므로 이를 쌍극자 배열에 의한 비저항 값으로 변환하는 프로그램을 추가하였고, 이렇게 획득한 자료를 2차원적으로 해석하기 위해 res2dinv v.3.5를 이용하였다.

본 모델링에서의 관심사항은 댐체의 하부가 포화되거나 저비저항대의 물성을 갖지 않을 경우, 저수부의 저비저항 대역에 의해 기하학적인 이유로 하부에 저비저항대가 나타날 것인지에 대한 분석을 목적으로 하였다.

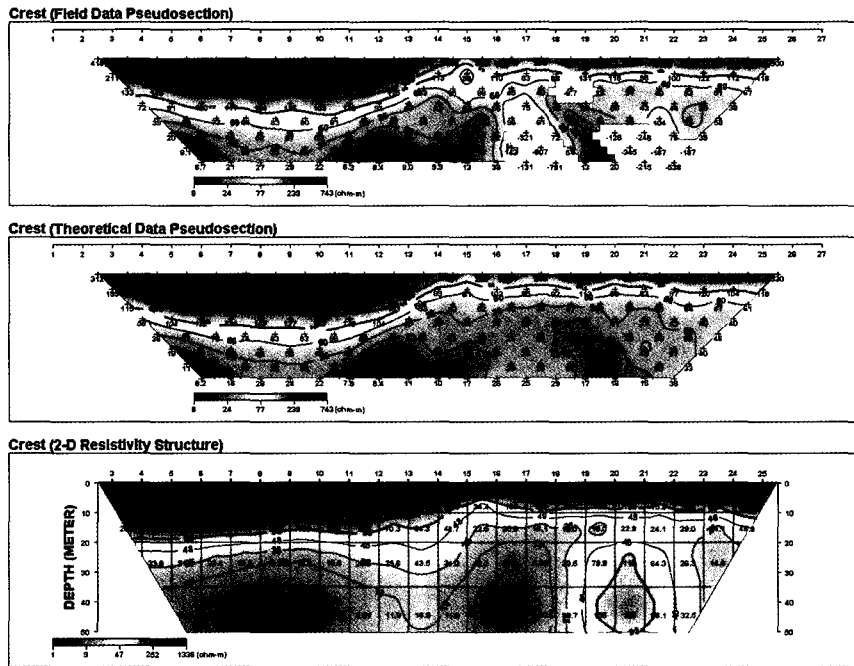


Fig. 1 Observed and interpreted section of resistivity profile performed at the crest of CFRD.

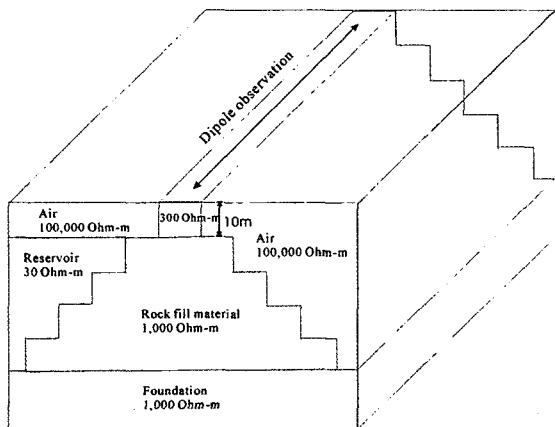


Fig. 2 대상댐의 물성을 반영하여 단순화한 3차원 입력 모델

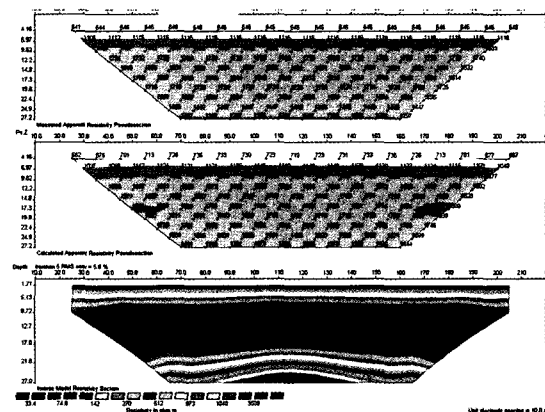


그림 3 Fig.2의 모델에 대한 3차원 전기비저항 반응 및 이의 2차원 역산 결과

Fig.3은 Fig.2와 같은 입력 모델을 기초로 3차원 모델링에 의한 댐 정상부에서의 쌍극자 배열 비저항 반응과 이를 토대로 2차원 역산을 수행한 결과를 도시한다. 만약 금번 조사 대상 댐의 상태가 Fig.2와 같다면, Fig.3의 2차원 역산 결과와 같은 양상을 보여야 할 것이다. 댐체에는 아무런 침투수가 존재하지 않으며, 1,000 Ohm-m 의 일정한 비저항대

를 유지하는 것으로 가정하였다. 그림에서 보듯이 가단면도 상에서 천부에서는 주변 공기층의 영향으로 주어진 물성 (300 Ohm-m)보다 높은 비저항 분포를 보이고 있으며, 아래로 내려갈수록 점차 증가하는 양상을 보인다, n=6 이하에서는 다시 낮아지는 양상을 보이고 있다. 이와 같은 현상이 3차원적인 효과로 보이는데, 공기층의 높은 비저항 보다는 저수부의 낮은 비저항에 의한 효과가 반영되기 시작하기 때문에 나타나는 현상으로 보인다. 가단면도 상에서 이 정도의 깊이에서의 비저항 저하는 2차원 역산에서는 좀더 극단적인 비저항 값으로 반영되어 깊이 약 27m부터 낮은 비저항대가 나타나는 것으로 해석되었다.

그러나 실제 Fig.1의 관측결과와는 비저항 값의 분포가 매우 다른 양상을 보이고 있어 이 모델로는 저비저항대를 설명하지 못하는 것으로 보인다. 이의 해석을 위해 다양한 모델 분석이 수행되었다.

Fig.4는 저수부가 물로 채워져 있을 경우의 모델이며, Fig.5는 이 경우의 모델 결과 및 이에 대한 2차원 역산 해석 결과이다. 저수부가 가득 채워져 있을 경우 매우 낮은 비저항이 전반적으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

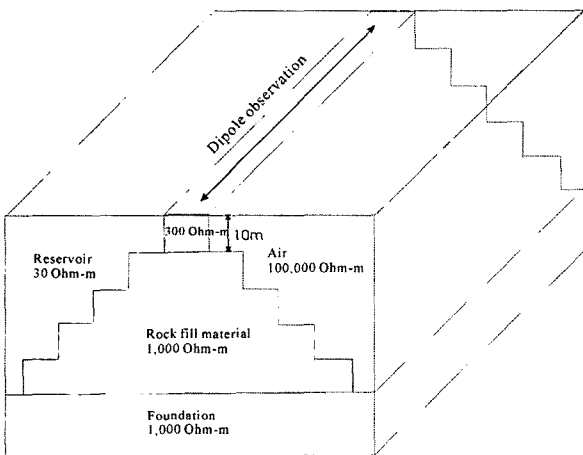


Fig.4. 저수부가 물로 채워져 있는 경우의 모델

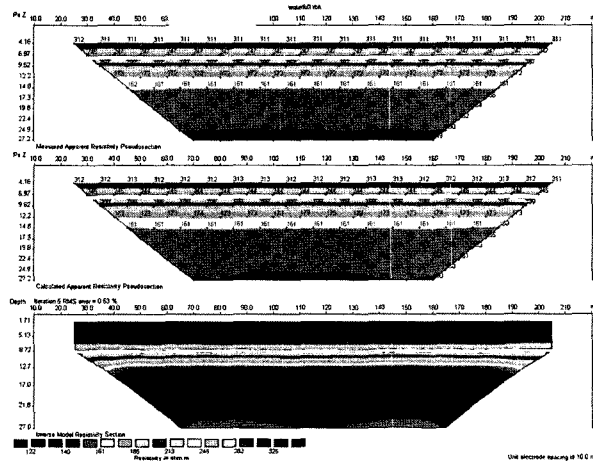


Fig.5. Fig.4의 모델에 대한 3차원 모델 결과 및 2차원 역산 해석 결과

#### 4. 결론

댐과 같은 3차원 구조에 대하여 2차원 역산 해석이 가져올 수 있는 문제점을 모델링을 통해 짚어보았다. 실제 관측자료를 정확히 반영하는 해석은 3차원 역산을 통해서도 매우 어려운 것으로 생각되며, 물리탐사 자료를 뒷받침할 수 있는 다른 자료의 확보를 통해서 보다 객관적인 해석을 수행해야 할 것으로 보인다. 댐의 경우, 일반적으로 3차원의 기하학적 효과로 인해 대상체의 이상대가 제대로 반영되지 못하고 있는 것으로 보인다.

#### 참고문헌

Spitzer, K., 1995, A 3-D finite difference algorithm for DC resistivity modeling using conjugate gradient methods, *Geophys. J. Int.*, 123, 903-914