

준설해사로 다짐된 방조제 제체 성토부의 콘저항치와 전기비저항 관계

송성호¹⁾, 강미경¹⁾

¹⁾한국농촌공사 농어촌연구원, shsong84@hanmail.net

Cone resistance and electrical resistivity with Depth at Dredged Sea Sand Region

Sung-Ho Song¹⁾ and Mi-Kyung Kang¹⁾

¹⁾Rural Research Institute, KRC

요약 : 준설해사를 이용하여 성토된 방조제 제체 매질에서 채취한 시료에 대하여 전기비저항을 실측하였으며, 소형루프 전자탐사의 1차원 역산 자료를 비교 분석한 결과 높은 상관성이 나타남을 확인하였다. 이러한 소형루프 전자탐사결과를 콘관입시험 결과와 비교하여, 비저항값과 콘저항치와의 상관성을 분석하였다. 분석 결과 준설해사로 성토된 방조제의 경우 1 ohm-m 이하의 비저항값이 나타나는 구간과 콘저항치가 50 kgf/cm² 이하로 매우 낮은 값을 나타내는 구간이 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 준설해사로 성토된 방조제의 경우 정기적인 비저항 모니터링의 결과를 활용한 유지·관리 업무에 활용이 가능한 것으로 나타났다.

주요어 : 준설해사, 성토재, 소형루프 전자탐사, 1차원 역산, 콘저항치

Abstract : We have measured resistivities for undisturbed soil samples collected from dredged bank with sea sand, and analyzed with one-dimensional inversion results from small-loop electromagnetic survey data. From the relationship between the two resistivities, it appeared that calculated resistivities were remarkably consistent with measured resistivities. Correlation relationships between resistivity values and cone resistance were analyzed after comparing inversion results with cone resistance. It turns out that the region with below 1 ohm-m is correspondent to that of with less than 50 kgf/cm² in dredged bank with sea sand. From the study result, resistivity monitoring of small-loop EM periodically is proved to be more effective to maintain the stability of embankment dike.

Keywords : dredged bank with sea sand, measured resistivities, small-loop EM, inversion, cone resistance

1. 서론

지금까지 우리나라에서 건설된 방조제의 성토 단면 축조 공법은 대부분 점토질 흙을 이용하고 있는데, 입도가 큰 사질인 준설해사를 이용하는 경우에는 내부마찰각이 상대적으로 커서 제체 안정에 유리할 수 있다 (Craig, 2007). 그러나 방조제 제체 내부 성토재의

다짐은 수위선 이상에만 가능하므로, 시공 과정에서 누수와 관련된 취약부분이 발생할 가능성이 크다. 일반적으로 방조제 제체를 통한 누수현상은 방조제에 의해 조성되는 담수호의 규모가 매우 크기 때문에, 담수호의 수질에 영향을 줄 수 있는 누수량에 대한 비중은 상대적으로 작다. 그러나 누수 현상에 수반될 수 있는 성토재 토립자의 유실, 이로 인한 제체 내부의 공동구간 발생 및 공동 구간의 함몰에 따른 지반침하 등이 우려된다. 연구대상 방조제는 준설해사를 이용하여 성토 단면을 축조한 방조제로, 성토재는 사질 크기의 입자로 구성된다. 이 연구에서는 준설해사를 이용하여 성토된 방조제 제체 구성 물질에 대하여 전기비저항을 실측하였으며, 이 자료를 이용하여 소형루프 전자탐사 자료를 해석하였다. 이러한 소형루프 전자탐사결과는 관입시험 결과와 비교하여, 실제 준설해사로 시공된 방조제의 정기적인 비저항 모니터링의 기초자료로 활용하였다.

2. 방조제 구조

방조제 구조는 축조재료, 끝막이 구간, 해상조건, 기초지반의 토질, 축조 공법 등에 따라 차이가 있지만, 본 연구대상은 바닥보호공, 기초지반 매트, 사석공, 필터공, 준설해사 성토재 및 피복석 등으로 구분된다. 이 중 성토재는 해수유입을 막는 제체의 본체로서 침투수를 차단하는 역할을 하는데, 본 연구대상 방조제의 경우 모래로 구성되어 점토에 비해 내부마찰각이 커 제체 안정에 상대적으로 유리한 준설해사를 이용하였다. 피복석은 해측 사면부에 설치되는데, 파랑에 의한 제체의 침식, 마모 등에 의한 제체의 파손 등을 방지하기 위하여 설치한다.

3. 연구결과 및 토의

3.1 성토재의 물성

연구지역의 준설해사를 이용하여 성토된 제체에서 채취한 심도별 불교란 시료의 역학적 특성을 분석한 결과, 시료들의 밀도와 습윤 단위 중량의 평균값은 각각 2.679와 1.926 g/cm³로 고른 분포로 나타났다. 또한 3축압축시험 결과 점착력과 내부마찰각의 평균은 각각 0.21과 34로, 전체적인 다짐상태가 양호한 것으로 판단된다.

준설성토 중 두 시료에 대한 입도분포곡선 결과 중량 백분율 약 90% 이상이 주로 세립질 모래가 우세한 것으로 나타났다. 성토재의 경우는 매질의 전단강도가 가능한 한 높고 압축성이 상대적으로 낮은 것이 필요하기 때문에, 본 연구지역의 경우는 성토재로 활용성이 높을 것으로 판단된다.

3.2 전기비저항과 성토재의 다짐 특성 비교

제체를 구성하는 성토재는 지속적인 다짐 작업을 수행하여, 지반의 강도를 높이는 작업을 진행한다. 이러한 다짐은 방조제 제체의 안정성을 높이는 필수적인 작업으로, 본 연구지역은 입도가 균질한 사질의 준설해사로 동일한 다짐에 대해 점착력과 내부마찰각이 커짐에 따른 다짐 효과가 커질 수 있다.

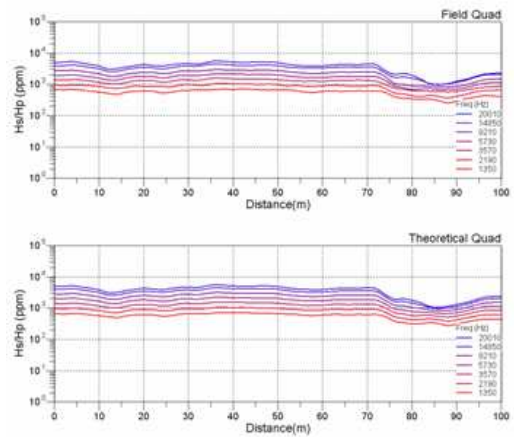


Fig. 1. Results of spatial low-pass filtering of field and theoretical quadrature components at survey line

본 연구에서는 다짐의 효과와 전기비저항의 상관성을 분석하기 위하여 심도별로 피조콘을 이용한 원위치 지반강도를 측정된 후, 이 지점들을 포함한 측선에 대한 소형루프 전자탐사 결과의 1차원 역산 결과를 비교하였다. 다중 주파수를 이용한 주파수 수직탐사 방식인 소형루프 전자탐사는 조사심도가 낮으므로 (송윤호와 정승환, 2002), 본 연구지역과 같이 방조제 단면 폭이 약 300m 정도인 경우에는 1차원 모델을 가정한 1차원 역산 결과로 전기비저항의 수직적 변화 양상 파악이 가능하다.

Fig. 1은 콘관입시험 지점을 포함하는 100m 측선에 대하여, 이상성분만을 이용한 1차원 역산 결과를 토대로 1차장에 대한 2차장의 비를 나타낸 결과이다. 전체적으로 안정된 결과를 보여주며, 주파수가 증가할수록 반응값이 커지는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 측선 상 콘관입시험이 실시된 80m 지점에 대하여 이상성분을 이용한 1차원 역산 결과로, 10개 층을 고정하고 각 층의 두께는 심도가 증가함에 따라 지수 함수적으로 증가하도록 설정하였다. 역산 결과 현장측정 자료와 이론적인 자료가 잘 일치되는 것으로 나타났으며, 지표 하부 약 5m 깊이까지 수십 ohm-m 범위의 비저항이 나타나지만 심도 5m 하부에서 1 ohm-m 이하로 급격하게 감소되는 결과가 나타났다. 이러한 결과는 임진택과 조인기(2003)가 제시한 바와 같이 하부층의 전기전도도가 매우 높은 경우 평활화 제한법이 층의 경계를 정확하게 구분하지 못하는 한계에도 불구하고 전반적인 지반상태를 파악하는데 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

Fig. 3은 전자탐사 1차원 역산과 동일한 지점에 대한 피조콘 관입시험 결과이다. 콘저항 값은 깊이 4m 까지 100 kgf/cm² 이상의 결과가 나타나지만, 이하 심도에서는 100 kgf/cm² 이하로 급격하게 낮아지는 결과가 나타났다. 특히 심도 약 5m 지점 근처에서는 50 kgf/cm² 이하로 매우 낮은 결과가 나타났다. 이러한 낮은 결과는 앞서 전자탐사 1차원 역산 결과 나타난 1 ohm-m 이하의 낮은 비저항 구간과 일치되는데, 나는데, Lunne(1997)에 의하면 콘저항치가 50 kgf/cm² 이하인 경우는 느슨한 모래로 제시한 결과에 따라, 깊이 4m 하부 심도에서 성토재의 유실에 의한 지반 강도의 저하와 이에 수반된 해수의 유입에 의한 결과로 판단된다.

4. 결론

준설해사로 축조된 방조제 성토부에 대하여 불교란시료를 채취하여 전기비저항을 실측하였으며, 소형루프 전자탐사의 1차원 역산 자료를 비교 분석하였다. 이러한 소형루프 전자탐사결과는 콘관입시험 결과와 비교하여, 비저항값과 콘저항치와의 상관성을 분석하였다.

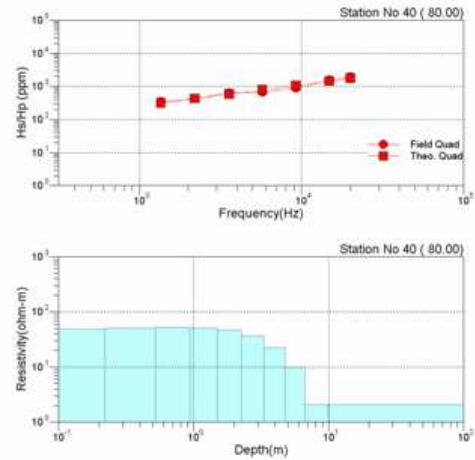


Fig. 2. Results of 1D inversion obtained by the Occam's inversion with quadrature component only at 80m point

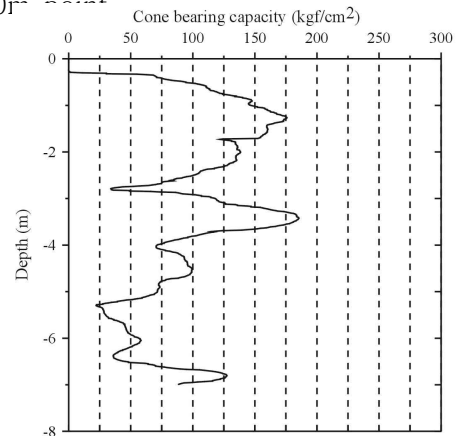


Fig. 3. Variation of cone resistance with depth

분석 결과 준설해사로 성토된 방조제의 경우 1 ohm-m 이하의 비저항값이 나타나는 구간과 콘저항값이 50 kgf/cm² 이하로 매우 낮은 값을 나타내는 구간이 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 준설해사로 성토된 방조제의 경우 정기적인 비저항 모니터링의 결과를 활용한 유지·관리 업무에 활용이 가능한 것으로 나타났다.

참고문헌

- 송윤호, 정승환, 2002, 소형루프 전자탐사의 감도분석 및 가탐심도 추정, 물리탐사, 5, 299-308.
- 임진택, 조인기, 2003, 소형루프 전자탐사법에 의한 지하 영상화, 물리탐사, 6, 187-194.
- Craig, R.F., 2007, Soil Mechanics, 6th ED, Taylor and Francis.
- Lunne, T., 1997, Cone Penetrating Testing in Geotechnical Practice, Spon Press.