

지구물리탐사로 고찰한 지반침하

김성욱* · 이현재* · 원지훈** · 서동주*** · 이종출***

*지반정보연구소, 611-828 부산시 연제구 연산5동 1495-9

**부산대학교 과학교육부 지구과학전공, 609-735 부산시 금정구 장전동 산30

***부경대학교 건설공학부, 608-739 부산시 남구 용당동 산100

suwokim@chollian.net

요약문

침하지반의 지하구조 해석을 위한 방법으로 전기비저항, 지하투과레이더, 굴절법 탄성파탐사를 실시하였다. 침하가 발생한 지점을 중심으로 조사를 실시하여 보강을 위한 경계를 설정하였으며 그라우팅 보강공사가 이후에 재차 시행되었다. 지반의 침하는 원지반 상부 연약지반에서 발생하였으며 침하량은 최대 50cm 정도이다. 침하의 원인은 해수 유입에 따른 지지력의 감소가 주된 원인으로 추정되며 보강공사 후 상부 연약지반의 전기비저항은 원지반과 거의 같은 크기를 보여준다.

1.서론

지반침하와 같은 재해현상은 지질구조와 지하매질의 복합적인 반응에 의한 결과로 나타난다. 지구물리탐사법은 지하구조와 매질의 특성을 정량적으로 파악할 수 있는 방법 중의 하나로서 매질의 고유한 물리적 특성을 이용하여 단기간에 2차원 내지 3차원의 분포를 규명할 수 있는 장점이 있다.

연구지역은 목포내항의 일부로 기존의 구조물이 조성된 후 추가 매립으로 항만을 증축하였으며, 증축된 지반에서 침하가 발생하였다 (그림 1). 이 연구에서 지반침하와 관련된 지하구조를 정량적으로 해석하기 위해 전기비저항탐사, GPR탐사, 굴절법 탄성파탐사를 수행하였고 이를 바탕으로 침하지역의 범위, 매립토사의 유실, 해수 유입, 기반암의 분포 등을 확인하여 침하의 원인과 보강을 위한 자료를 제시하였다. 한편 침하가 발생할 부분에 대한 그라우팅 보강공사 후 지하구조의 변화를 관찰하여 시공 전, 후의 지반상태를 대비하였다.

2.연구방법

침하지역에서 평행하게 2개 축선을 배열하였으며 축선별로 개별적인 탐사를 수행하였다. 쌍극자배열 전기비저항탐사로부터 획득한 2차원 단면을 통하여 매립지반의 구조와 해수의 영향 및 침하범위를 해석하였으며, 침하가 발생한 부분의 심도와 수반된 지하구조영상은 지하투과레이더탐사자료를 사용하였다. 기반암과 연약지반의 층서는 굴절법 탄성파탐사를 통하여 계산된 지하매질의 속도구조를 이용하였다 (그림 2).

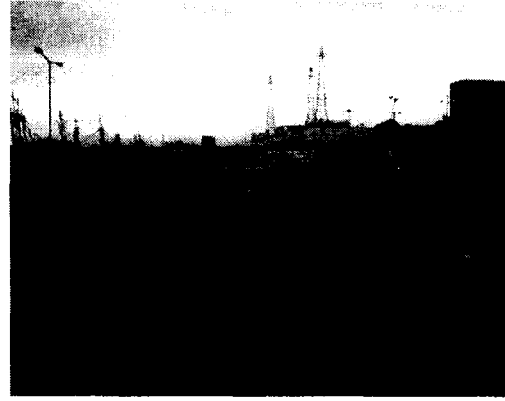
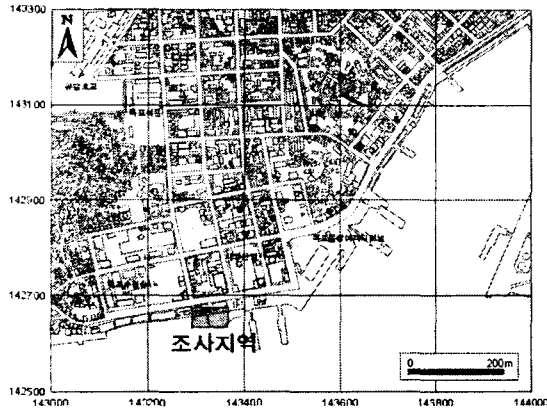


그림 1. 연구지역의 위치 (좌)와 침하지역의 전경 (우)

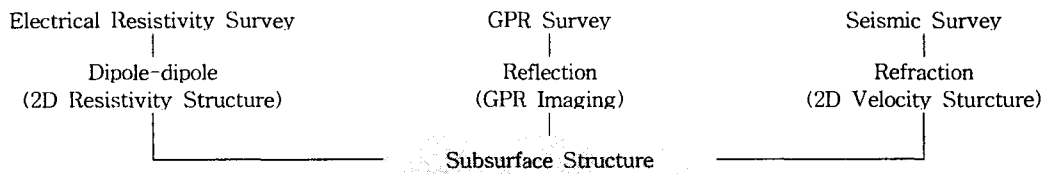


그림 2 지하구조해석을 위한 탐사방법

3.결과 및 고찰

토양의 전기비저항은 모재의 종류, 입자의 크기와 배열 및 토양 간극의 특성에 따라 달라지는데 그 중 토양의 온도, 함수비, 밀도, 교환성 양이온에 따라 차이가 난다 (김근수 외, 1999; 김성욱 외, 1999). 일반적인 점토질 토양의 전기비저항은 $10\sim 60 \Omega \cdot m$ 정도에 해당하며 점토의 함량과 함수비 및 염분농도가 증가할수록 비저항은 감소하며 해수포화대의 경우 $0.1\sim 3.0 \Omega \cdot m$ 의 낮은 비저항을 가진다 (Telford et al., 1976). 전기비저항의 측정은 AGI Sting R1을 용하였으며 전극의 간격은 3m하여 탐사심도가 15m가 되도록 하였다. 그림 3은 획득한 자료의 역산에 의한 해석단면으로 전기비저항대는 원지반의 풍화토 ($>50 \Omega \cdot m$), 상부비저항대 ($<50 \Omega \cdot m$), 하부비저항대 ($<3.0 \Omega \cdot m$)로 구분된다. 풍화토는 역산단면의 좌측부에 분포하며 해안 (RE-2)에서 육지 (RE-1)로 갈수록 뚜렷하게 관찰되며 우측 매립부와 경계는 경사져 있다. 상부와 하부저항대는 매립지반에 해당하며 비저항의 차이에 의한 층서구조는 해수 유입의 의한 것으로 추정된다. RE-1단면 비해 RE-2단면에서 하부저항대 ($<3.0 \Omega \cdot m$)의 분포범위가 증가되며 이는 해안에 인접할수록 해수의 유입이 원활한 것으로 판단된다. 해수의 유입은 매립지반의 함수량을 높이게 되고 결과적으로 지반의 지지력을 감소시키는 원인이 된다.

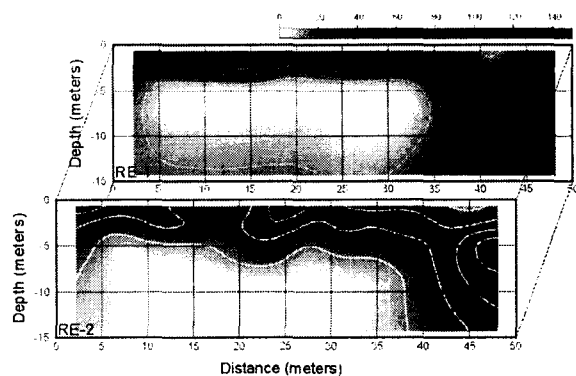


그림 3. 전기비저항 역산단면 (단위:ohm-m)

GPR탐사는 매질의 상대유전율, 상대투자율, 전기전도도에 관계되며 이것은 매질의 종류, 수분함량, 그리고 공극율에 크게 의존한다 (Knoll and Knight, 1994). 현장의 측정은 Sensor & Software의 Pulse EKK042를 이용하여 반사법 (reflection)에 의한 단속측정으로 수행하였으며 450MHz 안테나를 사용하였다. 그림 4는 GPR 탐사에 의한 지층영상을 나타낸 것으로 상단 그림의 24~30m 구간에서 원지반과 매립지반의 경계가 잘 관찰된다. 반면 하단 그림에서 원지반과 매립지반의 경계가 구분되지 않는데 원지반의 높은 함수량 때문으로 추정된다. 그림의 ㉠는 지반의 침하가 발생한 지하구조를 나타내며 지표조사에서 확인되는 침하부분과 일치한다. 그림의 ㉡는 부분적으로 침하에 수반된 용기구조로 추정된다.

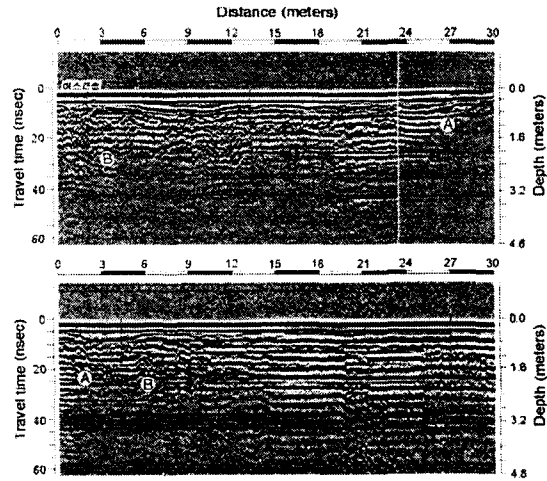


그림 4. GPR 탐사에 의한 지층영상

천부 지하의 개략적인 형태와 특성을 신속하게 제공하는 장점으로 굴절법 탄성파탐사가 사용되고 있다. 이 연구에서 매립지반과 기반암의 분포를 확인함으로써 상기의 탐사결과와 대비자료로 활용하고 침하지반 보강을 위한 자료 획득을 위해 수행되었다. 현장의 측정에서 수진기 간격을 3m로 하여 2전개를 실시하였다. 진동원은 각 전개의 중심점과 양끝점 및 2

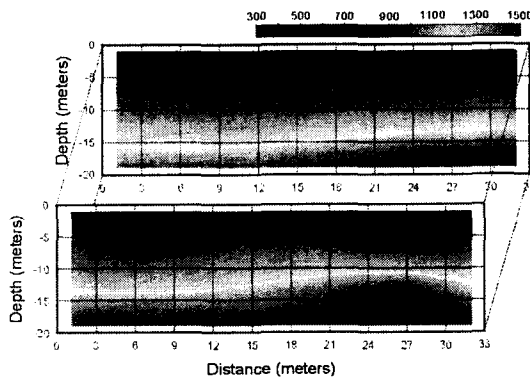


그림 5. 조사지역의 속도단면 (속도: m/sec)

개의 원격점으로 하였다. 그림 5는 탄성파속도단면은 GRM (Generalized Reciprocal Method)에 의해 각 층의 속도와 두께를 계산하여 제시한 것으로 지층은 3층 구조를 지시한다. 심도 15m이하의 최하부층은 원지반에 해당하는 결정질 암석에 해당하며, 단면 SE-1과 SE-2에서 각각 심도 7m와 5m 정도에서 수평으로 형성되는 최상부층과 중부층과의 경계는 지하수면으로 해수의 영향이 미치는 범위로 판단된다.

그림 6은 침하가 발생한 부분에 대하여 그라우팅 보강공사를 실시하였으며 시공전과 후의 전기비저항탐사 결과를 대비한 것이다. 그림에서 시공 전에 $3.0\Omega \cdot m$ 이하의 매우 낮은 전기비저항을 보여주던 부분이 시공 후 $50\Omega \cdot m$ 이상을 나타내며 천공심도에 해당하는 15m지점에서는 $1000\Omega \cdot m$ 내외의 비저항으로 원지반의 전기비저항과 거의 같은 수치를 보여준다.

침하지역의 현황과 지구물리탐사에 의한 자료를 종합하면 침하는 해수의 영향인한 지지력의 감소와 주된 원인으로 판단되며 매립부 지반에서 나타나는 침하구조와 공동구조는 매립토의 유실에 의한 것으로 추정된다.

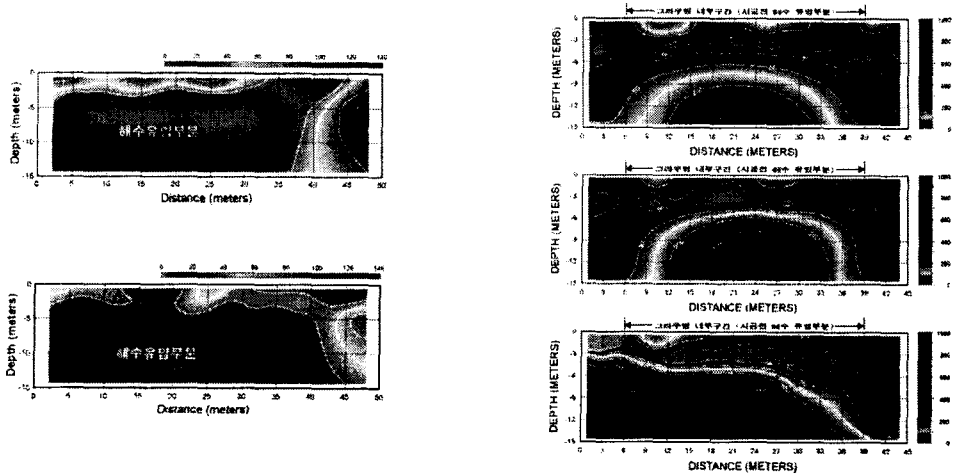


그림 6. 그라우팅 전 (좌)과 후 (우)의 전기비저항 역산단면 (단위:ohm-m)

4. 결론

침하지반에 대한 지구물리탐사의 적용성을 검토하기 위해 전기비저항탐사, 지하투과레이더탐사, 굴절법탄성파탐사를 실시하였다. 개별적인 탐사의 결과 조사지역의 지하구조는 경사진 경계면을 따라 원지반과 매립지반으로 구분되며, 매립부 지반은 다시 해수의 영향을 유무에 따라 상, 하부로 구분된다. 최대 침하량은 50cm 정도이며 매립부와 원지반의 경계부에서 집중되어있다. 침하의 주된 원인은 매립부 지반의 하부에서 해수의 영향으로 토사 유실로 지반의 지지력이 감소함에 의한 것으로 추정된다. 탐사에 의해 설정된 침하지역에 대한 그라우팅 보강공사 후 연약지반의 전기비저항은 원지반과 대등한 수치를 보여준다.

5.참고문헌

1. 김근수, 안윤희, 김성욱, 김국락(1999), "토양의 물리·화학적 특성에 따른 전기비저항의 변화", 한국환경과학회지 학술발표논문집, pp. 171-172
2. Knoll, M. D. and Knight, R.(1994), "Relationships between dielectric and hydrogeologic properties of sand-clay mixtures", 5th International Conference on Ground Penetrating Rader, v. 1, pp. 45-61
4. Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. F. and Keys, D. A(1976), "Applied geophysics", Cambridge university press, 860p