

지반 개량된 조간대 퇴적층에 대한 물리탐사 연구

김성욱* · 이현재* · 김인수**

*지반정보연구소, 611-828 부산시 연제구 연산5동 1495-9

**부산대학교 지질학과, 609-735 부산시 금정구 장전동 산30

suwokim@chollian.net

요 약 문

그라우팅으로 지반 개량된 조간대 퇴적층의 지층구조를 규명하기 위한 방법으로 전기비저항탐사, 굴절법 탄성파탐사, 지하레이더탐사를 실시하였다. 연구대상 지반의 10m 전후 심도에서 해수의 영향을 받는 수평의 저비저항대가 발달하며, 저비저항대는 모래가 우세한 지층에 해당한다. 지반의 탄성과 속도는 1~3km/sec의 범위로 조간대의 미고결 퇴적층과 비교할 때 매우 높은 속도에 보여준다. 지반의 높은 속도는 지반 개량의 효과로 판단된다. 지하레이더탐사에서 퇴적층의 구성 물질에 따라 교반 정도가 달지는데 모래층은 퇴적물과 주입제의 교반이 잘 이루어져 불규칙한 반사면으로 나타나며, 점토층은 교반이 불량하여 개량된 부분은 주상으로 관찰된다. 물리탐사의 결과와 시추조사를 대비할 때 지반 개량은 기반암까지 시행되었으며, 양호한 암반을 지시하는 고비저항대와 고속도층은 내륙으로 갈수록 깊은 심도를 보여준다. 이것은 지반 개량 이전의 기반암 심도와는 상반되는 것으로 지반 개량의 효과는 해안방면의 지층에서 잘 나타난다.

key word : 지반 개량, 전기비저항탐사, 굴절법 탄성파탐사, 지하레이더탐사.

1. 서론

연구지역은 태화강 하구에 조성된 접안 시설이 위치하는 곳으로 지리상의 중심좌표는 경도, 129°23' 1.4", 위도 35°29' 38.5"에 해당한다 (그림 1). 태화강 하구에 분포하는 조간대 퇴적층은 하부로부터 모래-실트층, 점토층, 모래-실트층으로 순서로 구성된다. 연약지반에 해당하는 점토층의 층후는 5~30m 정도이며 강의 하구에서 해안으로 갈수록 증가한다 (그림 3). 접안 시설은 퇴적층 위에 매립지를 조성하고 그라우팅 공법을 이용하여 지반을 개량한 후 시설되었다. 주변 지역은 연구지역과 같이 연약지반을 매립하여 접안을 위한 구조물이 들어서 있다. 물리탐사는 앞으로 매립지 내에 접안시설의 확장과 더 많은 구조물이 축조될 경우, 이미 조성된 시설물과 관련되는 침하의 문제와 지반공학적인 문제점을 도출하고 평가하기 위한 목적으로 수행되었다. 물리탐사를 적용한 지반의 연구방법은 연약지반에 축조될 건축물의 계획, 설계 및 시공을 위해 도움이 될 수 있다.

2. 자료획득과 처리방법

전기비저항탐사와 탄성파탐사는 지반이 개량된 지역에 대하여 해안에서 태화강 방향으로 호안벽과 나란하게 1개 축선을 전개하였다. 전극과 수신기는 아스콘으로 포장된 상부를 착암기로 착공한 후 하부 매립지반에 설치하였다. 전기탐사기는 Sting-R1을 사용하였으며 전극간격을 7m로 하여 가탐심도가 35m가 되도록 하였다. 이렇게 측정된 겉보기 비저항 자료를 이용하여 2차원 비저항도를 작성하였다. 굴절법 탄성파탐사는 Geometrics의 Smartseis (12 channel)를 사용하였으며,

수진기의 간격은 7.5m로 하였다. 각 수진점에 도달하는 탄성파의 초동을 읽어 주시곡선을 작성하고, 주시곡선에 나타나는 직선의 기울기로부터 지층에 대한 속도를 결정한 후 각층 경계면까지의 심도를 계산하였다. 지하레이더탐사는 Pulse EKK042와 50MHz 송신안테나를 사용하여 종단방향으로 2개 측선과 횡단 방향으로 3개 측선을 전개하였다 (그림 2).

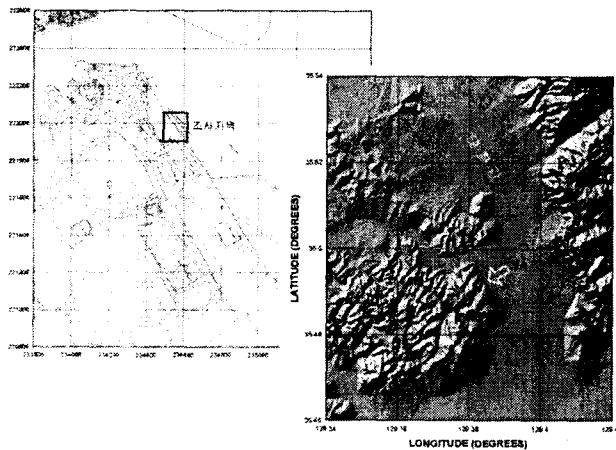


그림 1. 연구지역의 위치

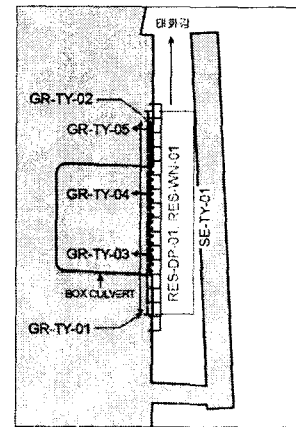


그림 2. 탐사 전개측선의 위치

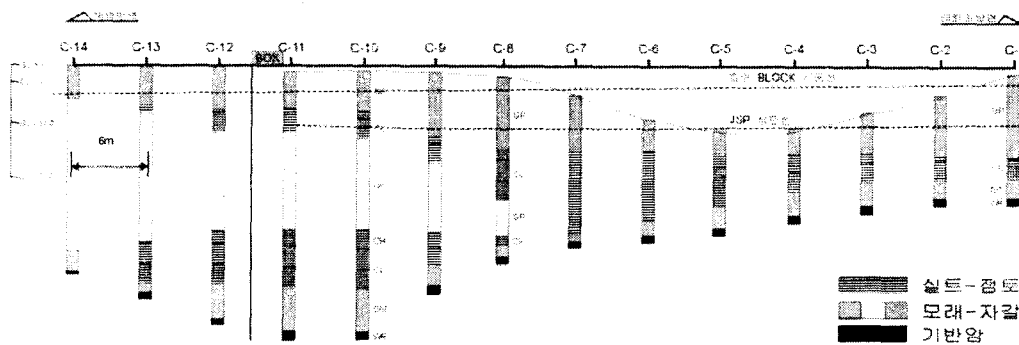
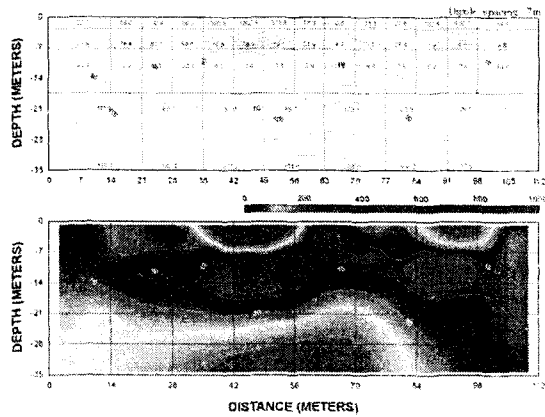


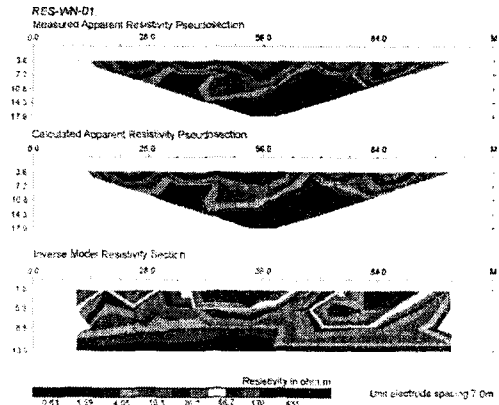
그림 3. 지반 개량 이전의 지층단면

3. 자료해석

그림 4의 전기비저항도에서 지반의 비저항은 층상의 분포를 보여준다. 7~15m의 심도에 저비저항대가 관찰되며 대화강 (단면 우측)으로 갈수록 저비저항의 범위가 증가한다. 저비저항대는 5.0 ohm-m 이하로 매우 낮은 수치를 가지며 해수면 하부에 위치하고 있어 이에 의한 영향으로 생각된다. 또한 저비저항대가 수평으로 발달하는 것은 물성의 차이를 반영하는 것으로 지층 경계면으로 해석된다. 100 ohm-m 이상의 고비저항대는 20m 내외의 심도에서 분포하며 해안 (단면 좌측)으로 갈수록 지표에 근접한다. 기반암 내지 견고한 지반상태를 지시하는 고비저항대의 분포는 지반 개량이전에 실시된 시추조사 (그림 3)와 상이한 것으로 그라우팅 주입의 효과로 추정된다. 즉, 조사지역의 우측부 (대화강 방향)에 비해 좌측부 (해안 방향)에서 그라우팅의 효과가 잘 나타난다.



(a) 쌍극자배열



(b) 원너배열

그림 4. 전기비저항 분포

주시곡선 (그림 5의 좌측)에서 초동의 도달시간이 30msec 이하로 일반적인 미고결 퇴적층에서 측정되는 주시에 비해 빠른 도달시간을 보여준다. 주시곡선으로부터 작성한 속도단면 (그림 5의 우측)에서 가장 낮은 속도분포를 보이는 상부층의 전파속도가 1km를 상회하는데 이러한 속도는 강도에 의한 암반의 분류에서 풍화암 내지 연암에 해당한다. 단면의 우측에서 상부속도층의 층후가 두껍게 나타나는 것은 매립지반을 나타내는 것으로 시추 주상도 (그림 3)와 일치하며, 단면의 우측 (해안방면)에서 하부속도층이 지표에 근접하는 것을 볼 수 있는데 전기비저항분포와 같은 결과를 보여준다.

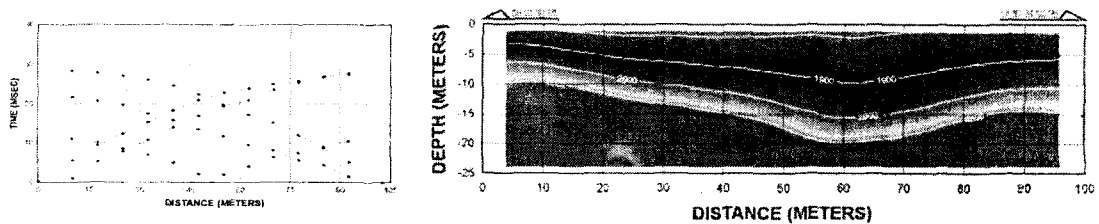


그림 5. 굴절법 탄성파탐사의 주시곡선 (좌)과 속도단면 (우)

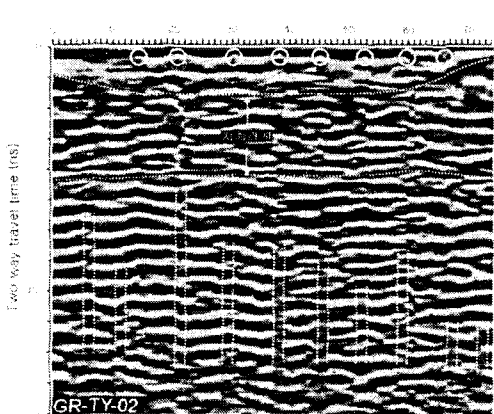


그림 6. 종단 50MHz GPR 반사단면

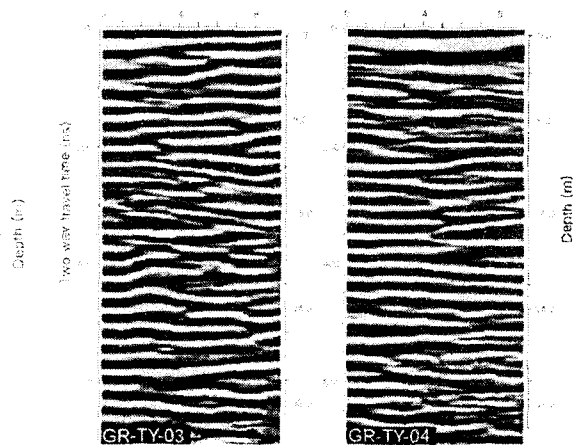


그림 7. 횡단 50MHz GPR 반사단면

그림 6은 종단 방향의 지하레이더 반사단면으로 상부 지층에서 크레인의 하부 기초 (원호 표시)가 일정한 간격으로 관찰된다. 4~12m 심도의 지층들은 불규칙한 반사면으로 나타나며 하부 지층의 반사면은 연속성이 양호하다. 특히 하부 지층에서 투과심도 차이에 의한 주상의 반사면들 (파선의 주상으로 표시)이 관찰되는데, 6m의 등간격으로 배열되어 있다. 일정 간격으로 배열된 주상의 반사면들은 그라우팅에 의한 것으로 추정되는데 주상의 반사면들이 나타나는 부분은 원지반이 점토가 우세한 지층에 해당하며, 모래가 우세한 부분에서는 주상을 유지하지 못하고 교란된 지층의 형태를 가지는 것으로 판단된다. 그림 7은 횡단 방향의 반사단면으로 수평 변위 4m를 기준으로 지층이 교란되는 형태를 보여주며 16m 심도까지 하부 지층으로 갈수록 교란되는 부분이 증가한다.

4. 결론

수평으로 분포하는 5.0 ohm-m이하의 저비저항대는 해수의 영향을 받는 부분으로 미고결 퇴적층의 지층 경계에 해당한다. 100 ohm-m이상의 고비저항은 20m 내외의 심도에서 분포하며 내륙으로 갈수록 깊은 심도를 보여주는데, 지반 개량 이전의 기반암 심도와는 상반된 결과로 그라우팅에 의한 개량의 효과는 해안방면의 하부 지반에서 잘 나타난다.

개량된 지반의 탄성과 속도는 1km/sec 이상으로 일반적인 조간대 퇴적층에 비해 매우 높은 속도에 해당하며 지반 개량에 의한 영향을 반영한다.

지하레이더탐사의 반사단면에서 모래층은 지층의 교반이 양호하여 불규칙한 반사면으로 나타나는 것에 반해 점토층에서 개량된 부분은 주상으로 나타난다. 횡단 방향의 반사에서 그라우팅 주입제와 기질부가 교반된 부분은 호안에서 4m 정도이며 교반 정도의 차이는 지층의 물성차이에 의한 것으로 판단된다.

시추 자료와의 대비에서 지반 개량은 기반암까지 시행되었으며, 해안방면에서 양호하며 내륙 방면은 기반암의 파쇄구간과 중첩되어 개량의 효과가 미흡한 것으로 추정된다.

5. 참고문헌

1. 김성욱, 이현재, 원지훈, 류춘길, 정성교(2001), "부산점토의 특성: 조간대 퇴적층의 전기비저항", 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표논문집, pp. 295-298
2. 김성욱, 이현재, 원지훈, 서동주, 이종출(2001), "지구물리탐사로 고찰한 지반침하", 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표논문집, pp. 299-302
3. Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. F. and Keys, D. A(1976), "Applied geophysics", Cambridge university press, 860p