

연약지반 공간적 분포 파악을 위한 TEM탐사 적용

황 학 수*, 하 성 호**, 이 승 련**, 이 해 영**

1. 서론

물리적 성질 중 지질매체간 전기비저항(electrical resistivity) 대비를 이용하는 전기비저항탐사법은 일반적으로 연약지반을 포함한 지질구조적 파쇄대 조사에 널리 사용되고 있다. 이 방법에서 지질매체의 전기비저항값은 전류를 매질에 주입하는 전류전극과 주입된 전류에 의해 야기된 전위차를 측정하는 전위전극간의 일정한 기하학적 배열을 사용하여 측정한다. 그러나 지표매질의 전기전도도가 매우 높은 지역에서 전기비저항탐사법과 같이 접지전극을 사용하는 탐사법은 current channelling 효과에 의해 목적심도까지 전류의 주입이 어렵다는 단점을 갖고 있다. 또한, 조사지역의 탐사환경이 갯벌이고, 만조 시 바닷물로 차있는 경우, 전기비저항법은 매 측정마다 전극의 이동과 배열에 많은 시간을 소비하므로 경제적 측면에서 매우 비효율적인 방법이다.

이에 반하여 전자(electromagnetic: EM)탐사법은 전기전도도가 매우 높은 매질에 대해 전기비저항 탐사법보다는 상대적으로 좋은 분해능을 갖고 있으며, 목적심도가 송신과 수신지점의 길이에 의존하지 않고 사용한 주파수(frequency)에 의존한다. 탐사환경에 따른 EM탐사법의 또 다른 장점은 송/수신 센서가 대지와와의 전기적 접촉이 필요 없기 때문에 측점이동에 있어서 매우 용이하다는 것이다.

이 연구에서 사용한 시간영역전자(time-domain/transient electromagnetic: TEM)탐사는 EM탐사의 일종으로 지하매질의 전자적 반응을 시간영역에서 측정하는 탐사법이다. TEM탐사법은 일반적으로 전도성 광물자원탐사에 주로 사용하였다. 최근에는 고성능 소형 컴퓨터(예, 노트북 PC) 개발에 따른 자료처리의 효율성, 해석기술의 상용화 등으로 TEM 탐사법은 지질구조 조사(Keller et al., 1984), 지하수 자원탐사(McNeill, 1990; Fitterman and Steward, 1986; Mills et al., 1988), 지열자원조사(Fitterman et al., 1988), 탄화수소탐사(Wightman et al., 1983), 골재자원조사 그리고 지하수/지질오염조사

*1 한국지질자원연구원 선임연구원(hhsid@kigam.re.kr)

*2 주)서정엔지니어링 상무이사

*3 주)서정엔지니어링 대표이사

*4 행정중심복합도시건설청 서기관

연약지반 공간적 분포 파악을 위한 TEM탐사 적용

(Hwang, 1997; 조진동 외, 2000; Hoekstra and Blohm, 1990; 이상규 외, 1988; 이상규 · 황학수, 1990)분야에서 그 활용범위를 넓혀가고 있다.

이 연구는 표토층이 해성점토로 구성되어있으며, 또한 만조 시 해수의 유입으로 바닷물로 차있는 지역에서 연약지반의 분포 파악을 위한 TEM탐사법의 적용사례이다. 탐사의 목적은 철도교량 건설을 위한 지반조사의 일환으로 해성점토층의 두께, 즉 연약까지의 심도분포를 파악하는 것이다.

2. 자료획득

조사지역은 전라남도에 위치한 광양항 부근 고길천(Fig. 1)으로 이 지역은 광양항 서측인입철도건설 기본설계시 교량으로 통과하도록 계획되었다. 조사 지역에서 자료취득을 위해 측선길이가 300m인 3개의 물리탐사 측선(T-1, T-2, T-3)을 20m 간격으로 예정철도노선과 평행하게 설정하였다(Fig. 2). 각 측선에서 측정간격은 10m, 20m, 30m를 사용하였으

며, 매 측정 시 현장여건에 따라 측정간격을 수정 결정하였다. 해수의 유입이 없는 구간(육상부)은 측정간격으로 10m와 20m를 사용하였고, 해상구간은 20m와 30m를 사용하였다(Fig. 2).

조사지역에서 TEM탐사를 수행한 총 측정수는 45개이며, 각 측정에서 10m×10m 동위치송수신배열(coincident loop array)을 사용하여 TEM반응을 측정하였다. Photo 1(a)는 현장탐사에 앞서 TEM 송수신루프 제작과정을 묘사한 사진이다. 현장에서는 10m×10m와 20m×20m 크기의 두개 루프를 제작하였고, 사전 시험을 통하여 탐사목적 및 탐사환경에 가장 적합한 루프 크기로는 10m×10m를 선정하였다. Photo 1(b)와 (c)는 조사지역에서 해수가 빠져나갔을 때 수행한 TEM탐사 사진이며, Photo 1(d)는 만조시 해수가 유입되었을 때 바닷물 위에서 탐사를 수행하는 사진이다.

측정에 사용한 기기는 호주 MCI(mineral control instrument)사에서 TEM탐사 목적으로 개발한 SIROTEM MKIII이고, TEM반응을 측정할 지연시간대는 SIROTEM 이른지연시간대(early delay

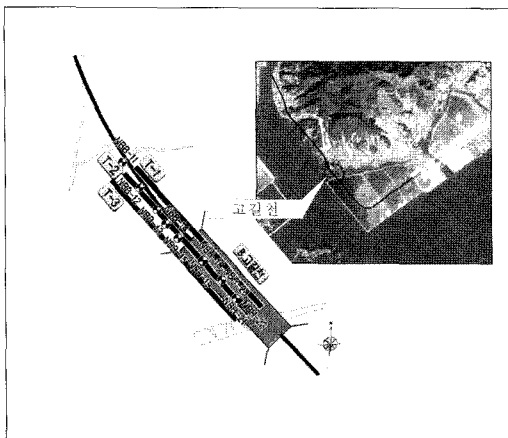


Fig 1. Survey site

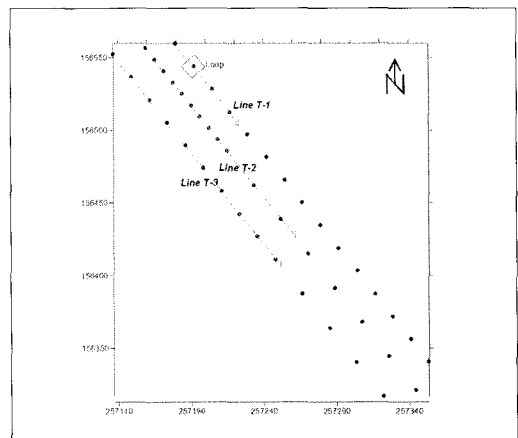
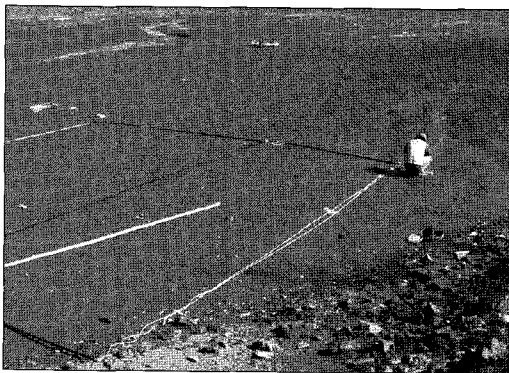


Fig 2. Survey stations along line T-1, T-2, and T-3

time)로서, 25채널(0.050~7.375msec)을 사용하였다. 측정시 송신루프에 주입한 전류세기와 수신입력 단에서 사용한 이득(gain)은 각각 약 6A와 10이고, 양질의 자료를 획득기 위해 최대 중합수(stacks)를 1,024로 하였다.

황학수와 이상규(1997)는 TEM센서흔들림유도 잡음에 대한 연구에서 3성분 roving vector receiver (RVR-3C)를 빠른 걸음(약 6km/hour)으로 이동시켰을 경우, 센서흔들림잡음에 의해 기여되는 주된 주파수대역은 약 200Hz 이하임을 밝혔다. 이 때 사용한 RVR-3C의 효과면적(effective area)은

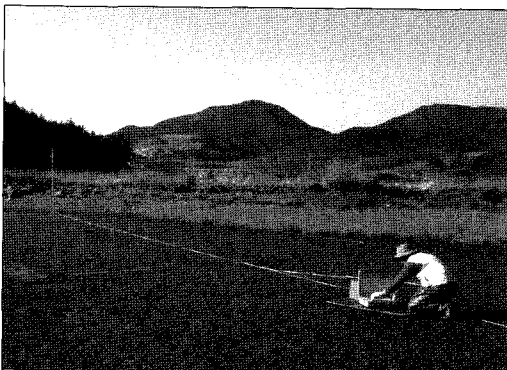
10,000m²이다. 해수표면의 움직임에 의해 야기되는 센서흔들림유도잡음의 주된 주파수대역은 위의 경우보다 매우 낮은 주파수대역임을 추측할 수 있다. 그러므로 이 연구에서 사용한 지연시간대(0.050~7.375msec)는 상대적으로 100Hz 이상의 주파수대역이므로 해수표면 움직임에 의해 야기되는 전자잡음의 영향은 크지 않을 것으로 가정할 수 있다. 또한, 현장 TEM탐사에 사용한 수신루프의 효과면적은 1,000m²로서, RVR-3C와 비교하여 저주파수대역에서는 센서의 감도가 상대적으로 매우 낮음을 추측할 수 있다.



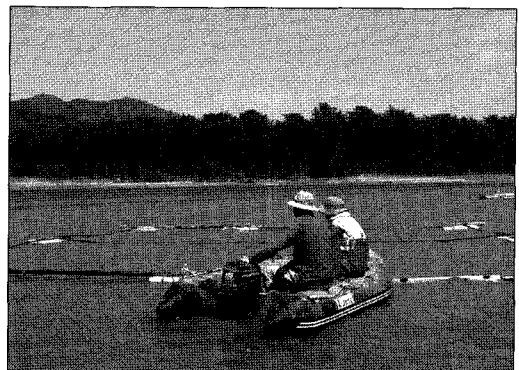
(a) Construction of a TEM Loop



(b) TEM measurements in land(1)



(c) TEM measurements in land(2)



(d) TEM measurements in the sea

Photo 1. Field survey

3. 자료처리 및 해석

초기 지연시간대의 인덕티브 스파이크(inductive spike)와 전자잡음의 영향이 상대적으로 크게 작용하는 후기 지연시간대를 제외한 전형적인 TEM 감쇠곡선과 축선별 프로파일링(profiling)은 Fig. 3~Fig. 6과 같다. 초기 지연시간대를 제외한 감쇠곡선의 기울기, 즉 시정수(time constant)의 대략적 유형으로 보아 축선하부는 3층으로 구성된 층서구조의 특성을 갖고 있는 것으로 추측된다.

축선하부의 지질구조에 대하여 보다 정량적인 해석을 위하여 각 축점별 1차원 역산을 수행하였다. 역산 프로그램은 호주 Encom사의 EM Vision Ver.2.3이며, 사용한 알고리즘은 Raiche/Spies의

smooth model이다. 단순 층서모델 대신 smooth-model을 사용한 이유는 기반암인 퇴적암(세일) 내에서 신선한 암과 풍화대 간의 전기비저항 대비가 명확하지 않고 매우 점이적으로 변화하기 때문이다. 그러므로 이 같은 지역에서는 지하매질에 대한 전기비저항의 2차원 분포를 파악한 후, 시추자료와의 비교해석을 통해 층서를 구분하는 것이 보다 정확하고 효율적일 것이라 판단된다.

각 축점에서 smooth model 역산을 통해 산출된 지연시간대별 전기비저항값과 심도 자료들을 사용하여 그리딩(griding)과 내삽(interpolation) 과정을 거쳐 축선하부의 전기비저항 2차원 단면도를 작성하였다(Fig. 7~Fig. 9).

Fig. 7은 축선 T-2 하부의 전기비저항 단면도이

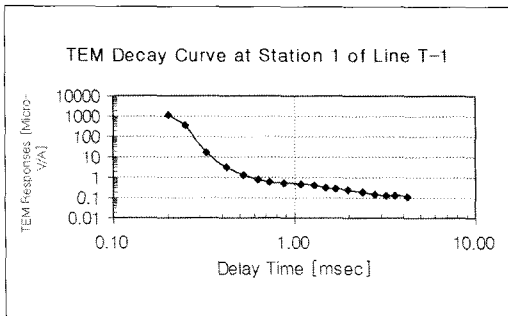


Fig 3. TEM decay curve at station 1 of line T-1

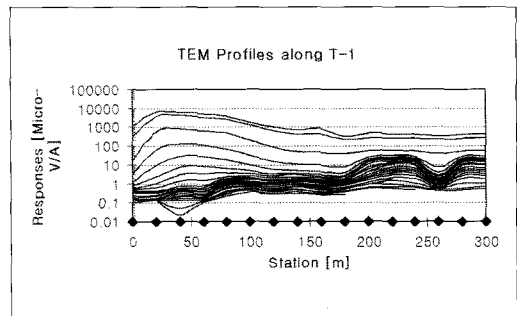


Fig 4. TEM profiles along line T-1

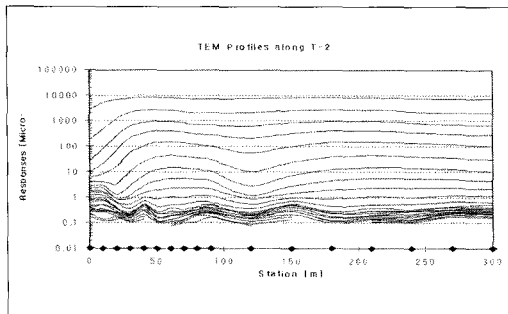


Fig 5. TEM profiles along line T-2

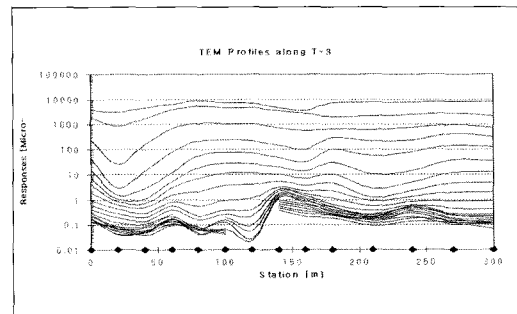


Fig 6. TEM profiles along line T-3

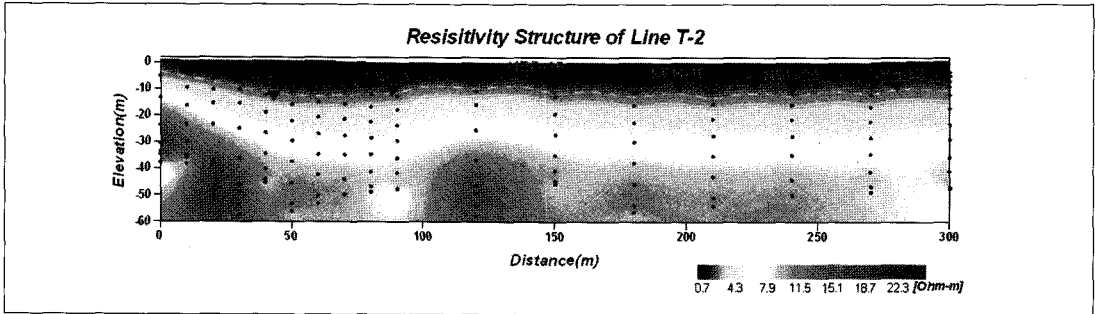


Fig 7. Geo-electrical Section along line T-2

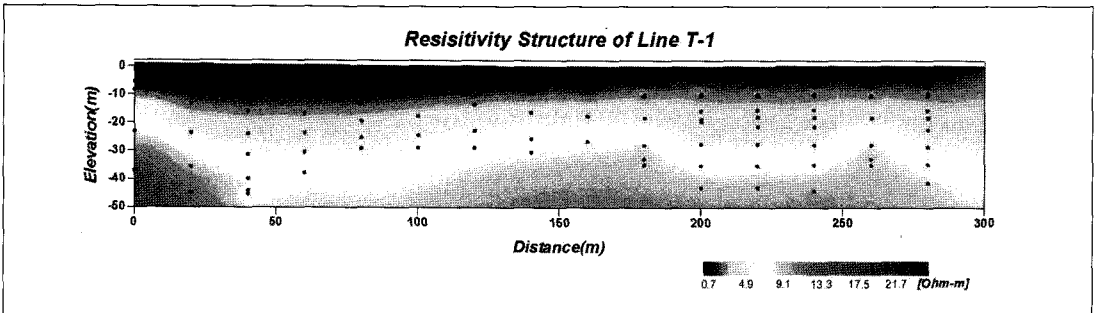


Fig 8. Geo-electrical Section along line T-1

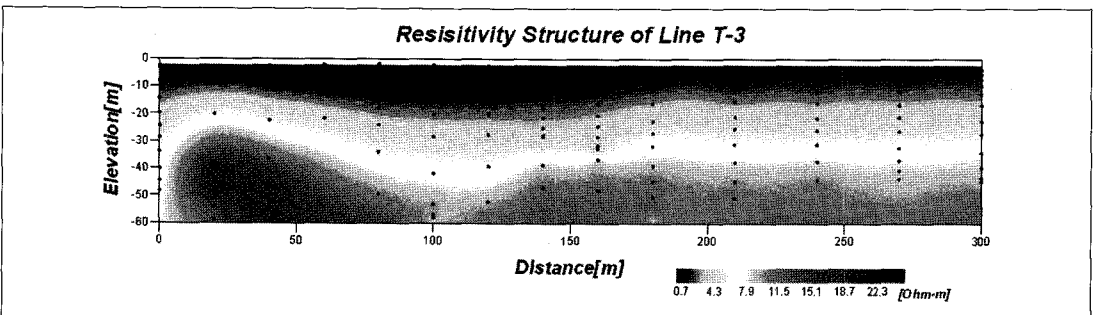


Fig 9. Geo-electrical Section along line T-3

며, 이 축선에서는 TEM탐사와 더불어 시추조사 (NBB-8, NBB-9, NBB-9, NBB-9, NBH-1, NBH-2, NBH-3, NSB-4, NSB-5)도 병행하여 실시하였다. 전기비저항 단면도 상에서 시추조사에 의해 확인된 연암의 심도와 비교·검토한 결과 연암의 경계심도에서 전기비저항값은 약 2.2 ohm-m(단면

도 상의 회색 점선)이다. 그러므로 축선 T-2에서 확인된 경계심도의 전기비저항값을 축선 T-1(Fig. 8)과 T-3의 단면도(Fig. 9)에 적용하여 각 축선 하부의 연암의 심도를 결정하였다.

Fig. 10은 조사지역에서 해석된 연암의 경계심도에 대한 공간적 분포도이며, 그 경계심도의 범위는

연약지반 공간적 분포 파악을 위한 TEM탐사 적용

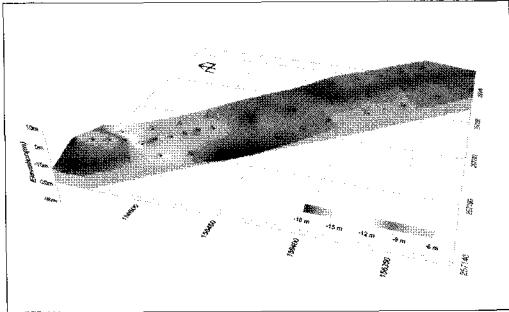


Fig 10. The depth distribution to the soft rock

6m~18m이다. 연암의 경계심도는 북서방향과 남동방향에서 축선의 중앙으로 갈수록 차차 깊어지고, 또한 남서방향, 즉 해안가로 갈수록 그 심도가 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

조사지역은 전라남도 광양항 부근 고길천으로 광양항 서측인입철도 건설계획에서 교량으로 통과하도록 계획되었다. 이 지역은 표토층이 해성점토이며, 만조 시에는 바닷물이 유입되는 지역으로 전기비저항탐사를 수행하기에는 매우 어려운 탐사환경에 있다. 이런 탐사환경 하에서 연약지반(해성점토층+풍화대)의 공간적 분포를 파악하기 위해 시간영역전자탐사(transient/time domain electromagnetic: TEM)를 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 조사지역에서 연약지반과 연암의 경계심도에서 산출된 전기비저항값은 약 2.2 ohm-m이다.

둘째, 3개의 TEM축선에서 연약지반과 연암의 경계심도는 최소 6m에서 최대 18m의 범위 값을 갖는다.

셋째, 경계심도는 북서방향과 남동방향에서 고길천의 중앙부로 향할수록 그리고 고길천을 중심으로 남서방향, 즉 해안으로 갈수록 증가한다.

넷째, 연약지반 조사에 일반적으로 사용되는 전기비저항탐사법을 적용하기 매우 어렵고 또는 할 수 없는 이 같은 탐사환경에서 TEM탐사는 현장탐사의 측면이나 자료해석 측면에서 매우 경제적이며, 효율적인 탐사법이다.

Reference

1. 이상규, 황학수(1990), 동위치송수신루프 배열에 의한 과도전자파 수직탐사자료의 비선형 최소화승 역해, 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-89-2A-2, pp.47-74.
2. 이상규, 조진동, 구성분(1988), "해수오염조사를 위한 TEM sounding의 시험적용", 지질학회지, 제24권, 제1호, pp.71-81.
3. 조진동, 황학수, 이철우, 박인화(2000), "해수침입으로 오염된 지역에 대한 고분해능 TEM탐사", 지질학회지, 제36권, 제1호, pp.39-46.
4. 황학수, 이상규(1997), "이동하면서 측정할 수 있는 시간영역전자탐사 시스템 개발을 위한 센서흔들림유도잡음 제거 연구", 자원환경지질, 제31권, 제1호, pp.53-57.
5. Fitterman, D.V., and Stewart, M.T.(1986), "Transient electromagnetic sounding for groundwater", Geophysics, Vol.51, No.4, pp.995-1005.
6. Fitterman, D.V., Meckers, J.A.C., and Ritseman, I.L.(1988), "Equivalence behaviour of three electrical soundings methods as applied to hydrogeological problems", Presented at the 50th

