

고출력 쌍극자 비저항탐사에 의한 갯벌하부 지반조사

정현기, 이동구¹⁾, 주형태²⁾

1. 서론

태안군 이원 방조제 앞바다 갯벌은 현재 방조제의 인공공사로 인해 자연 갯벌의 보존이 부분적으로 유실되고 있다. 이를 위해 이 현장에서는 인공구조물을 계획하고 있는데 그 선행사항으로 이 일대의 넓은 지역에 대해 기반암 깊이를 포함한 지반하부의 정보를 탐사해야할 실정에 있다. 한국 해양연구소에서 탄성과 탐사를 시험적으로 수행하였으며, 탄성과 물성과는 별도의 전기적 물성에 근거한 전기비저항 탐사로 지반 하부 정보를 얻을 수 있다면 이 지역에 큰 도움을 줄 수 있는 결과가 될 것이다. 그러나 국내뿐만 아니라 선진국에서도 이러한 바다물 환경의 지표에서 전기비저항 탐사를 수행한 보고가 없는 실정이다. 국내외에서 쌍극자 전기비저항 탐사는 역사가 오래되었지만 Geometrical Sounding이라는 특별한 장점 때문에 각종 문제 현장에서의 후속 시추 결과 비교 사례들로 볼 때 이 간편한 탐사 기법이 매우 효율적임이 판정되어 있다. 더구나 근래에는 PC의 발전으로 역산 기법이 발달하여 칼라 영상 단면을 짧은 시간에 제공할 수 있기 때문에 많은 현장에서 활용되고 있다. 이에 이 쌍극자 전기탐사법이 도전성 현장에서 반복성이 보장되는 계속결과만 얻어질 수 있다면 새로운 현장응용 사례가 될 것이다. 현재 국내외에서 갯벌, 간척지, 해수침입 등의 문제와 관련하여 바닷가 인근의 지층조사 문제가 집중하고 있다. 그러나 대부분의 지구물리 탐사인들은 이러한 비정상적인 도전성 지층에서의 전기탐사를 기존의 탐사장비 한계로 인한 고정관념으로 인해 부정적으로 생각하고 있다. 이번 탐사는 이러한 시점에서 강전류 간편 송신부 개발에 근거하여 현장의 난점을 극복하고 유용한 지하정보를 단시간에 추출하기 위하여 시도되었다.

2. 고출력 쌍극자 비저항탐사 현장 자료획득

전기비저항탐사에 있어 특히 쌍극자 배열의 경우 분해능이 좋으나 현장 계측시에는 송수신 전극간격이 증가할수록 신호 대 잡음비가 급격히 감소한다. 따라서 양질의 심부 자료 정보 획득을 위해서는 송신전류를 강하게 증가시키는 것이 가장 중요하다고 현장 숙련자나 장비회사들은 이구동성으로 주장하고 있다. 여기서 우선 그 의미를 간단히 살펴보면 다음과 같다. 쌍극자배열의 겉보기비저항(apparent resistivity)은 다음과 같다.

$$\rho_a = n(n+1)(n+2) \pi a \frac{\nabla V}{I}$$

여기서 탐사장비가 측정하는 것은 $\frac{\nabla V}{I}$ 이므로 가령 쌍극자길이 a가 10배가 되면 수신신호는 1/10배가 된다. 따라서 심부탐사를 위해 a를 증가시키면 수신부의 S/N비는 상대적으로 감소하므로 동일한 자료질의 계측을 위해서는 필히 전류 I를 그만큼 증대시켜야 한다. 물론 여기서 수신부의 자료처리에 의한 측정정밀도는 동일하다고 가정하는 것이다. 따라서 금번 개발 시스템에서는 1 KW의 송신전류를 1000V/1A, 500V/2A, 250V/4A, 100V/10A 등으로 모듈화 연결 사용할 수 있게 설계 개발하여 현장 적용하였다. 송신부 및 수신부 정밀 측정에 대한 하드웨어 시스템 및 계측 소프트웨어의 상세 사항에 대해서는 여기서 생략한다. 한국의 지질은 지표층의 접지저항이 광범위하게 변하는바 최악의 경

우에도 1A의 송신전류를 부가하기 위해서는 송신전압의 충분한 증대가 필요하다. 본 시스템에서는 1000V까지 가능한 송신부 제어를 실현하였다. 직렬 및 병렬 연결 운용에 의한 효율적인 송신파워부의 개발(4개의 250V/1A 모듈로 구성된 1KW 출력부)로 고비저항 지역에서는 1000V/1A 출력이 사용되고, 저비저항 지역에서는 250V/4A 출력이 사용된다. 여기서 사용된 전압 및 전류 수치는 일반 전기탐사 장비에서 출력치로 표시하는 peak to peak 값이 아니고 rms 값이므로 실제 개발 시스템의 출력은 현저히 증가된 셈이다. 현재 모든 상업용 전기탐사 장비는 고비저항 지역에서는 상대적으로 낮은 전류를 흘릴 수 있고, 저비저항 지역에서만 카탈로그상의 최대 전류출력이 허용된다. 이는 근본적인 하드웨어 설계상의 피할 수 없는 사항이다. 본 개발 시스템에서는 위에서 언급한 바와 같이 4개의 파워 모듈을 직렬 및 병렬로 상황에 따라 스위칭 제어 운용함으로써 하드웨어 크기 축소 및 효율적 송신부 운용을 실현시켰다. 본 현장에서는 전 측정에서 4 A의 강한 정전류 송신에 의해 $n = 10$ 까지의 전극 전개 전체에 대해 빠짐없이 매우 양호한 측정 결과를 획득하였다. 한편 개발 시스템은 자료의 잡음 점검을 위해 실시간 파형 관측이 계측 소프트웨어 운용으로 가능하여 불량 측정은 즉시 판별 가능한 장점이 있다. 이렇게 하여 현장에서 최대한의 중요한 양질 자료 획득이 이루어진다.

3. 결과 해석

그림 1은 태안군 이원 방조제 앞바다 갯벌 하부의 지반 조사를 위해 한국해양연구소 주형태 박사팀이 수행한 탄성과 탐사 측선 및 결과 단면도이다. 전기탐사와의 상호 결과 비교를 위해 동일 측선의 일부구간(AA'측선의 시작 부분 190m 구간)을 비저항탐사 측선으로 설정하여 탐사를 수행하였다. 그림 2는 이원지역 갯벌에서의 전극간격 5m 탐사에 의한 각 측정 측정자료 획득 파형의 결과 일부이다. 각 파형 도시도의 상부숫자는 쌍극자 탐사 측정점의 송신 및 수신 시작 측정점과 겉보기비저항(Ohm 단위)을 나타내고 하부 숫자는 측정파형의 최소치 및 최대치를 나타낸 것이다. 그림 3은 이원지역 갯벌에서의 전극간격 5m 쌍극자 비저항탐사 자료 및 역산해석 결과 단면도이다. 측정 겉보기비저항 단면도(상) 상의 우측 상단 부분의 자료 결핍은 밀려오는 썰물로 인해 빠진 것이다. 그러나 이론 역산 추정 단면(중)과 매우 잘 일치하고 있으므로 역산 결과 단면(하)은 충분히 신뢰할 수 있다. 이 지역에서의 가능한 송신전류는 최소 4 A 이상 최대 8 A까지이었으나 탐사의 편리상 일관성을 유지하기 위해 모든 송신전극에서 정전류 4 A로 설정 탐사하였다. 결과 단면에서 보면 탐사지역의 지층 표면은 2 ohm-m 내외의 낮은 비저항층 하부에 5 ohm-m 내외의 중간층이 10m 하부 지점에 발달하고 있으며 그 아래에는 20 ohm-m 내외의 어느 정도 바다물이 스며든 기반암이 층서적으로 발달하고 있다. 단면 왼쪽의 육지쪽에서 단면 오른쪽의 바다쪽으로 갈수록 추정 기반암의 심도가 완만하게 깊어지고 있음을 확연히 알 수 있다. 이는 앞서의 탄성과 탐사 측선구간의 시작부와 비교해 볼 때 양호하게 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 갯벌 피복층의 측정 비저항값이 2 ohm-m 정도로 예측보다 덜 낮게 나온 것은 염수(0.1 ohm-m 이하)로 충전되었다고 하나 뿔이나 모래 등으로 체적에 있어 많이 점유되었기 때문으로 분석된다. 이상에서 볼 때 이 특별한 도전성 지층현장에서의 시험탐사는 매우 성공적이었으며 이는 기존 탐사 장비로 불가능한 것을 간편 강전류 송신부의 자체 원천 기술 개발로 가능하였다고 하겠다.

4. 결론

현재 국내외에서 갯벌, 방조제, 간척지 공사현장, 해수침입 등의 문제와 관련하여 바닷가 인근의 지층 지반조사 문제가 점점증하고 있다. 그러나 대부분의 지구물리 탐사인들은 이러한 도전성 지층에서의 전기탐사를 기존의 탐사장비 한계로 인한 고정관념으로 인해 부정적으로 생각하고 있다. 본 연구에서는 최대 1 KW급 간편 고출력 송신부 전기탐사 시스템을 자체 개발, GPR 레이더 탐사가 불가능한 태안군 이원면 저비저항 갯벌 현장에 적용한 결과 매우 양호한 결과를 획득하였다. 더구나 차년도에는 다채널 동시 고속 자동 탐사시스템 개발로 확장될 것이므로 향후 다양한 현장에서의 활용이 기대된다.

5. 참고문헌

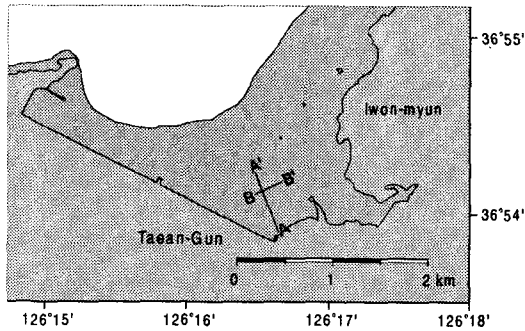
정현기 외, 2000, 휴대용 동기화 복합전기탐사시스템 개발, 한국자원연구소.
염기대, 주형태 외, 2000, 황해 연안역의 해양환경 복원을 위한 연구 : 인공갯벌, 한국해양연구소.

주요어 : 고출력 전기탐사, 쌍극자 비저항탐사, 갯벌 지반조사

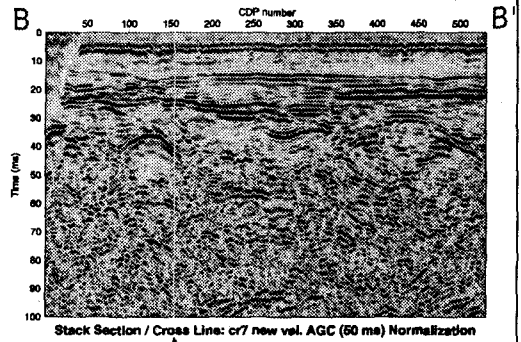
- 1) 한국지질자원연구원
- 2) 한국해양연구원

Survey Results: Stack sections / Long line and check line

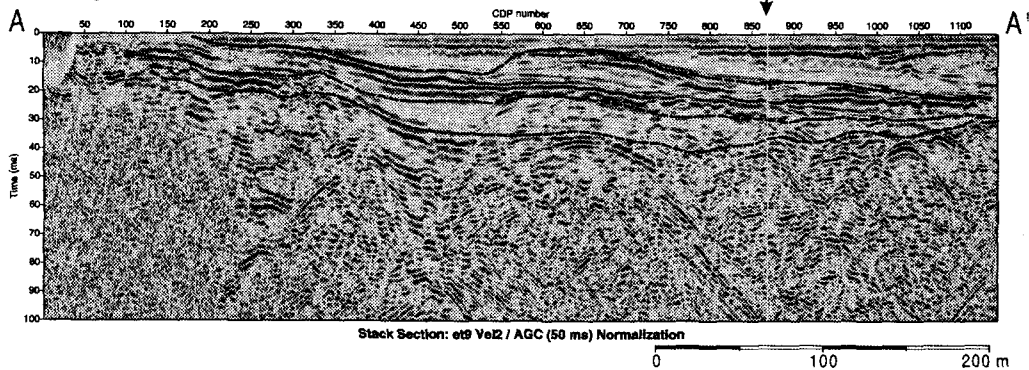
Survey Tracks



Check line profile



Long line profile



Survey Summary:

- Total of 551 shots for long line profile and 244 shots for check line
- Total of 1145 CDPs for long line, and 531 CDPs for check line

Interpretation:

- At least, three sedimentary sequences are identified above acoustic basement
- The lower sequences are interpreted as pre-Holocene sedimentary layers

그림 1. 태안군 이원 방조제 앞바다 갯벌 하부의 지반 조사를 위해 한국해양연구소에서 수행한 탄성과 탐사 측선 및 결과 단면도. 전기탐사와의 상호 결과를 위해 동일 측선의 일부구간(AA'측선의 시작부분 190m 구간)을 비저항탐사 수행.

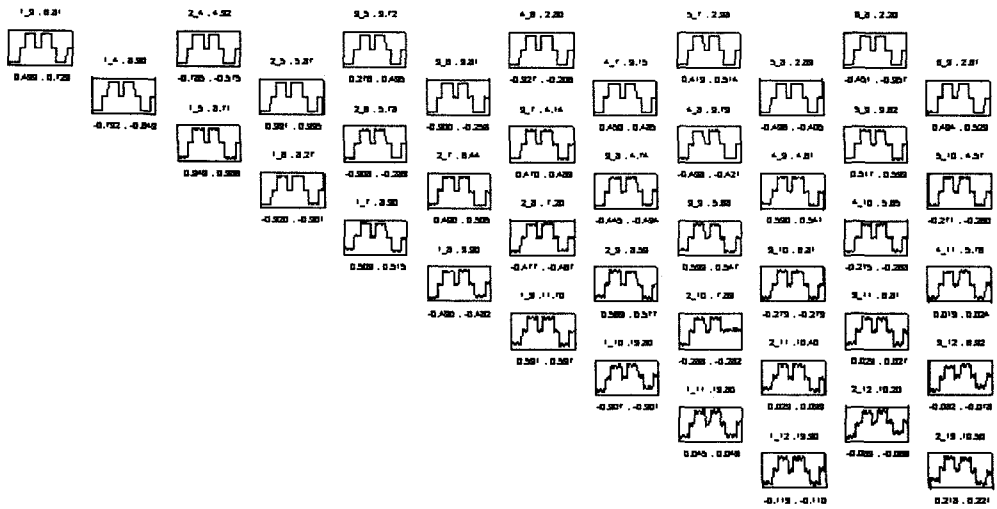


그림 2. 이원지역 갯벌에서의 전극간격 5m 탐사에 의한 각 측정점 측정자료 획득파형 결과 일부. 각 파형 도시도의 상부숫자는 쌍극자 탐사 측정점의 송신 및 수신 시작 측정점과 겉보기비저항(Ohm 단위)을 나타내고 하부 숫자는 측정파형의 최소치 및 최대치를 나타낸 것이다.

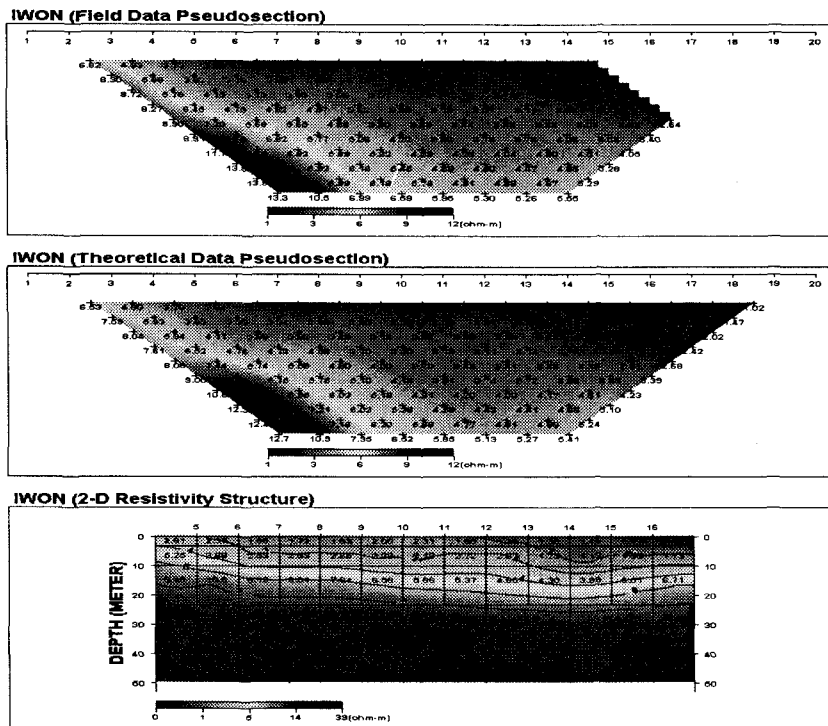


그림 3. 이원지역 갯벌에서의 전극간격 5m 쌍극자 비저항탐사 자료 및 역산해석 결과 단면도. 모든 측정점에서 4 Ampere의 강한 정전류 송신으로 매우 양호한 측정 결과를 획득하였고, 역산 결과 좌(육지 쪽)에서 우(바다쪽)로 노랑색 추정 기반암 경계가 완만하게 증가함을 확연히 볼 수 있음.