

# 간편 심부 전기탐사 시스템 개발

정현기 · 임부택<sup>1)</sup> · 정호준<sup>2)</sup>

## 1. 서론

전기비저항 탐사는 인공잡음에 강하고 Time-domain sounding 이나 Frequency-domain sounding 과는 달리 기본적으로 Geometrical sounding 이므로 해석 결과가 정확하여 광상 탐사, 지하수탐사, 지반조사 등 천부 지하구조 확인을 위하여 국내외에서 널리 이용되고 있다. 그러나 대개 가탐심도가 300m 정도에 불과하다는 제한이 있다. 근래에 심부 암반지하수 온천 탐사, 지열 탐사, 지하공간 개발, 심부 대규모 잠두광상 조사, 대규모 구조물의 기반 안정성 조사(천부 대상체도 정밀규명을 위해서는 주변 심부구조 파악 요) 등의 목적을 위하여 심도 500-1000 m의 지하구조 규명을 위한 탐사가 많이 요구되며, 앞으로도 이러한 요구(21세기의 초전도 지하 전력 저장, 축열 등)는 계속 증가할 것이다.

본 연구에서는 현재 널리 활용되는, 탐사심도가 약 300 미터 정도인 전기탐사기의 출력을 증대시켜, 탐사심도를 약 1200 미터까지 증가시키고, 정밀 동기시계에 의해 송·수신부를 완전히 분리 운용함으로써 야업이 신속, 간편한 휴대형 전기탐사 시스템을 개발하고 심부탐사 현장적용 후 탐사결과를 획득 고찰하였다.

## 2. 전기탐사 장비 현황 개요

상업적으로 이용 가능하여 널리 쓰이는 전기 비저항 탐사기는 수십년 기술축적의 스웨덴 ABEM사 Terrameter, 일본 OYO사 McOHM, 프랑스 BRGM SYSCAL R2, 미국 AGI사 STING 등이며 이외에도 성능이 다소 뒤지는 E2 DIGIT, RSP-6, RDC-10 등 다수 있으나 우리나라에서는 Terrameter 및 McOHM이 현장탐사에 많이 쓰이고 있으며 모두 Digital stacking type 이다. 범용 지하탐사 시스템 중에 심부전기탐사 기능이 있는 것과 특수목적 전탐시스템도 있으나 널리 쓰이지 않으며, 최근에는 각 전극이 단지 2가닥 내지 6가닥의 배선에 의해 전자적으로 선택될 수 있는 시스템이 등장하여 야업을 간편하게 하고 있고 시추 공용 Pole-Pole Multi-Channel Tomography 등의 고가시스템도 판매중이다. 한편 A사는 송수신부 분리형(송, 수신 전극간에 배선이 필요 없으므로 심부탐사 설계시 야업이 현저히 간편해져 심부 대형 신속탐사가 기존의 해석기술로 간편히 수행될 수 있음)을 개발 중에 있다. 최근에 ABEM사는 보다 고출력의 전기탐사 시스템을 상용화 하였는데 이는 Time-domain IP 탐사 기능을 함께 갖는 복합 전탐시스템이다. 규격상 고출력이라고 하나 최고출력 전압의 최고출력 전류를 지원하는 것은 아니다. 제조 회사에 따라 탐사심도를 증가 시켜주는 부스터를 기본 내장하거나 option으로 제공하는데 전반적으로 송신부가 수백V 수백mA 인데 항상 최대치 전류를 흘릴 수 있는 것은 아니며 대지 조건에 따른다. 수신부는

---

주요어 : 쌍극자 비저항탐사, 심부탐사, 동기시계

- 1) 한국자원연구소 자원연구부
- 2) 서울대학교 교육종합연구원

대개 12bit A/D 에 gain을 다이내믹하게 사용하거나 V/F converter를 isolation으로 쓴다. 통상 SP 측정 기능을 가지며 측정 resolution은 10-20uV 이다. 최근에는 대개 측정치의 디지털 저장이 가능하며 RS232로 PC전송 받는다. IP탐사기능을 갖는 것도 있고 대개 수차례 평균측정을 할 수 있으며 순수 측정 Cycle시간은 60Hz 및 odd harmonics를 coherently 제거하기 위해 대개 3.6초이며 측정 cycle 중에도 변화하는 대지 Self Potential을 상쇄하기 위해 송신전류 방향을 교대로 보내고 측정한다.

### 3. 시스템 개발

그림 1은 송수신분리 계측시스템의 설계 개념을 보여주는 급변에 개발된 시스템을 현장에서 운용할 때의 전체적인 모식도이다. 여기서, 송신부와 수신부는 서로 독립된 시스템이어서 서로 전선으로 연결할 필요가 없으므로, 송신부와 수신부를 우리가 원하는 만큼 서로 이격시켜 측정할 수 있는데, 바로 이것이 본 시스템의 가장 중요한 장점들 중의 하나이다.

한편, 쌍극자배열의 겉보기비저항(apparent resistivity)은 다음과 같다.

$$\rho_a = n(n+1)(n+2)\pi a \frac{4V}{I}$$

여기서 탐사장비가 측정하는 것은  $\frac{4V}{I}$  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 급변 개발 시스템에서는 송신전류를 1A까지 가능하게 설계하였는데 이는 통상 a=50m의 지하수 탐사에서 약 250m의 지하정보를 획득하는 것이 경험적으로 가능한 바(이때 대개 장비의 송신전류는 100mA 내외) a=300m를 위해서는 6배의 송신전류 즉 600mA 이상의 전류를 요하기 때문이다. 한국의 지질은 지표층의 접지저항이 광범위하게 변하는바 최악의 경우에도 1A의 송신전류를 부가하기 위해서는 송신전압의 충분한 증대가 필요하다. 본 시스템에서는 1000V까지 가능한 송신부 제어를 실현하였다.

송수신부 분리시스템을 위해서는 한조의 정밀한 동기시계 (precise synchronized clock)가 절대적으로 필요하나 MT/CSAMT 탐사시스템과 같이 매우 drift가 낮은 시계는 필요하지 않으므로 급변에 제작한 동기시계는 고가의 OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator)를 사용하지 않고 초소형 저전력 소모(20mA)의 TCXO (Temperature Controlled Crystal Oscillator)를 사용하였다. 한편 편의상의 목적으로 parallel port가 아닌 serial port로 최대 8개 이상의 동기시계를 동시에 setting할 수 있는 시스템을 구성하고 각 동기시계의 출력주파수는 소프트웨어로 간단히 바꿀 수 있게 제작하였다.

급변에 개발된 심부탐사시스템의 수신부는 매우 간편하게 자료측정이 가능한 대화식 그래픽 소프트웨어가 제공된다. 그림 2는 개발된 소프트웨어 운용의 한 장면을 보여주는데 상하 좌우 key에 의해 편리하게 메뉴 대화식으로 사용되므로 따로이 설명서가 거의 필요없게 되어 있다. 초당 20번의 정밀측정을 12초에 걸쳐 측정한 후 실시간으로 노트북 화면상에 그 파형을 보여주는데 이때 파형 표시의 세로축은 순간적으로 자동 조정된다. 그림 3은 한 측정주기 동안의 계측 timing 상세설명도이고 그림 4는 짝수번째 전극에서만 송/수신 계측하는 현장 전극 배치도를 보여준다.

#### 4. 제주서부지역 현장적용 결과

개발된 시스템의 종합적인 현장시험을 위하여 제주도 서부 일대에서 쌍극자배열 전기비저항 탐사를 수행하였다. 탐사축선은 북제주군 애월읍 일대에서 동서방향이며, 전극간격  $a=300\text{m}$ , 측정전개  $n=10$  으로 총 30측점(측선 총연장 8.7km)에 걸쳐 쌍극자 비저항탐사를 수행하였다. 측량편의상 차도를 따라 탐사를 수행하였으며 측선은 거의 일직선이였다.

접지저항을 간편하게 최소화하기 위해 5내지 8개의 전극을 매설하여 연결한 그룹전극을 사용하였는데 인접 전극과의 접지저항을 측정하여 접지저항이 너무 높으면 추가로 전극을 보강하거나 해수를 부어 접지저항을 감소시켰다. 이렇게 하여 급변 탐사의 모든 측점에서 정전류 1A의 송신전류 주입을 유지하였다. 이때 전류전극간에 걸리는 전압은 측점마다 다르나 대개 500V내지 최대 1000V였다.

이상에서 급변의 탐사 축선은 지형적으로는 평탄한 편이었으나 탐사조건 면에서는 전봇대가 측선 도로를 따라 구간별로 존재하였고 한편으로는 고압송전선이 측선을 가로지르기도 하는 등 종합적으로 비교적 악조건의 시험 축선이 선정된 셈이다.

탐사수행 전에는 제주도의 지질특성상 경사 수  $^{\circ}$  이내의 층서구조를 예견하였으나 본 탐사결과는 그와는 좀 다른 재미난 결과를 보여주고 있다(그림 5). 전반적으로 지표에 가까운 층은 수천 Ohm대의 국부적 이상을 연속적으로 보여주고 측선 중앙부의 하부에 서쪽으로는 고비저항체, 동쪽 심부에는 저비저항체의 존재를 보여준다. 지형도상에서 측선 중앙부는 일련의 오름이 교차하는 큰 구조선의 가능성을 보여주는데 본 탐사결과는 그러한 영향과 일치하는 해석결과를 추정할 수 있다. 중앙 하부의 고비저항대와 저비저항대의 대립이 지질학적으로 어떠한 원인에 의한 것인지는 정확히 설명할 수 없으나 적어도 수직에 가까운 큰 구조선이나 암상경계의 존재는 명백하다 하겠다. 한편 측선 중앙 동쪽하부(해수면 이하 900m 혹은 지표면하 1200m)에는 약 20 Ohm-m대의 특이한 저비저항체의 뚜렷한 존재를 파악할 수 있는데, 이것이 지표 밖으로 뚫고 나오지 못한 하나의 완성되지 못한 오름인지 또는 미고결층인지는 정확히 알 수 없다. 종합적으로 본 탐사는 약 8Km의 측선 구간에 걸쳐 지하 1200m 이상의 전기비저항 분포 정보를 제공하였으며 이는 추후 필요시 언제든지 시추 혹은 지질학적인 정보와 함께 재해석될 수 있는 중요한 자료이다. 이번에 개발된 송수신부 분리형 휴대용 전기탐사시스템은 비교적 간편한 야업으로 신속하게 심부 지하정보를 제공할 수 있는 막강한 수단이 될 수 있음을 입증하였다. 즉 통상의 MT나 CSAMT 탐사결과는 심부 정보에 대해 가변폭이 큰 오차를 제공하나 본 쌍극자탐사는 DC Geometrical Sounding 이므로 역산 해석 소프트웨어에 의해 비교적 정확한 기하학적 지하 비저항 분포를 제시한다. 그러나 3차원 구조효과는 역시 배제할 수 없으며 각 탐사방법의 장점을 살려 종합탐사가 이루어져 복합해석된다면 보다 나은 지하정보가 획득될 것이다.

급변에 개발한 전기탐사 시스템은 정밀동기화시계를 사용하여 송신부와 수신부를 완전히 분리함으로써 야외작업이 매우 신속, 간편하게 되었다. 이 시스템을 사용하면, 지금까지 한국 및 외국에서 일반적으로 사용하던 최대 전극 간격인 50 m 대신, 300 m까지 전극 간격을 늘일 수 있음으로써, 지하 1.2 km까지의 비저항 분포를 확인할 수 있다. 이러한 점은 제주도 서북부에서의 시험탐사 결과 훌륭히 입증되었다. 타 심부탐사 시스템에 비해 상대적으로 간편한 본 시스템은 계속적으로 성능향상(멀티채널 SIP 탐사기능 추가)중이며 한편으로 다양한 현장에 탐사응용해 나갈것이다.

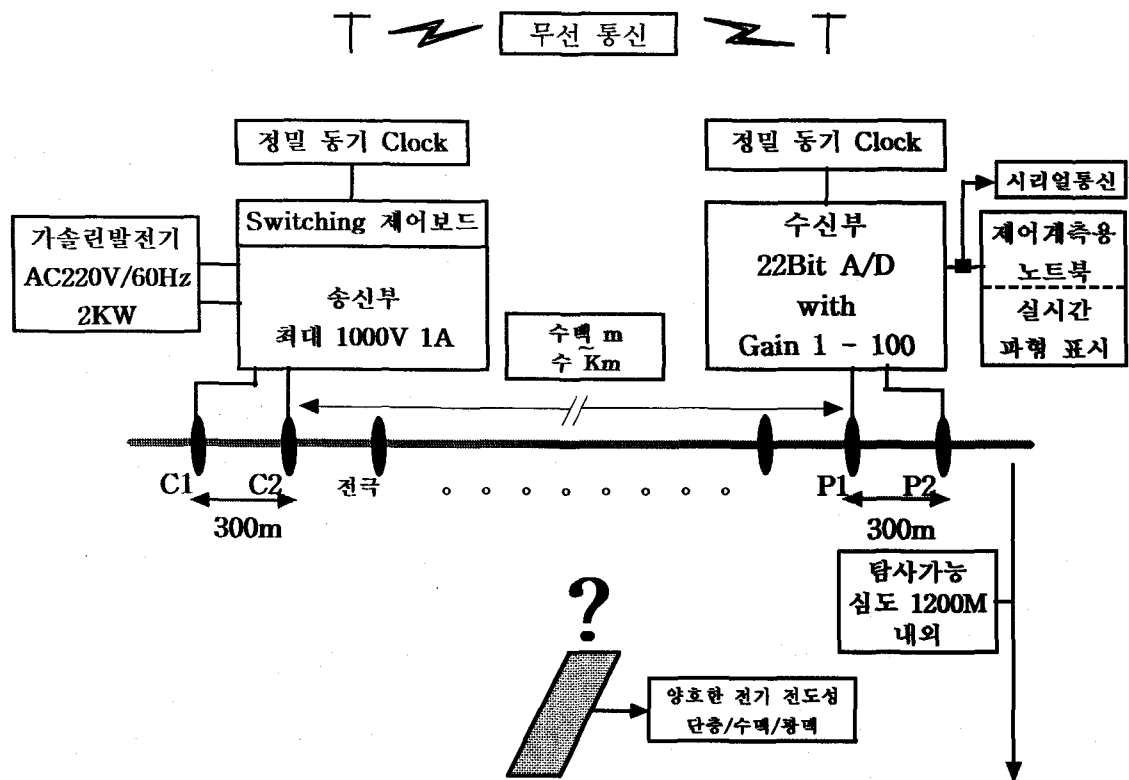


그림 1. 송신부와 수신부를 분리운용하는 심부 전기비저항탐사 시스템의 모식도

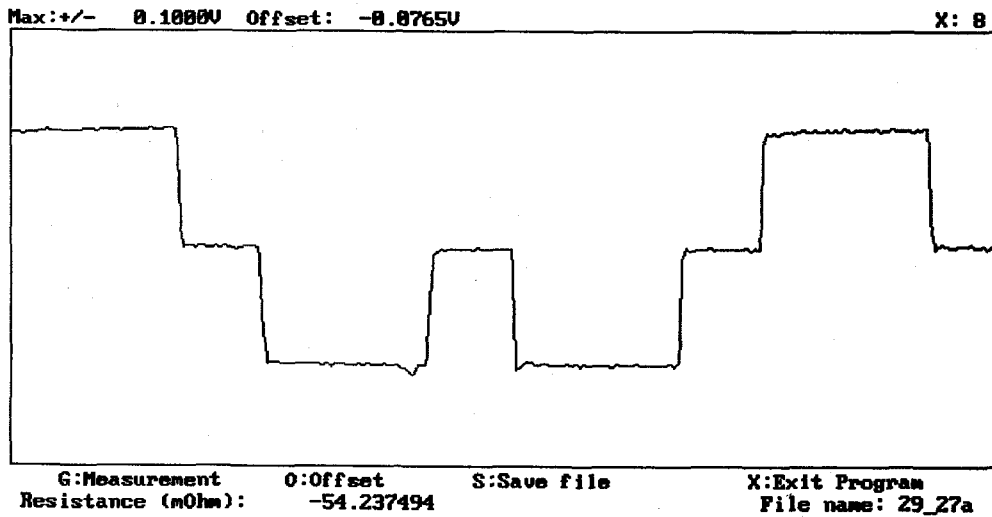


그림 2. 노트북 화면에 표시되는 실시간 측정 파형

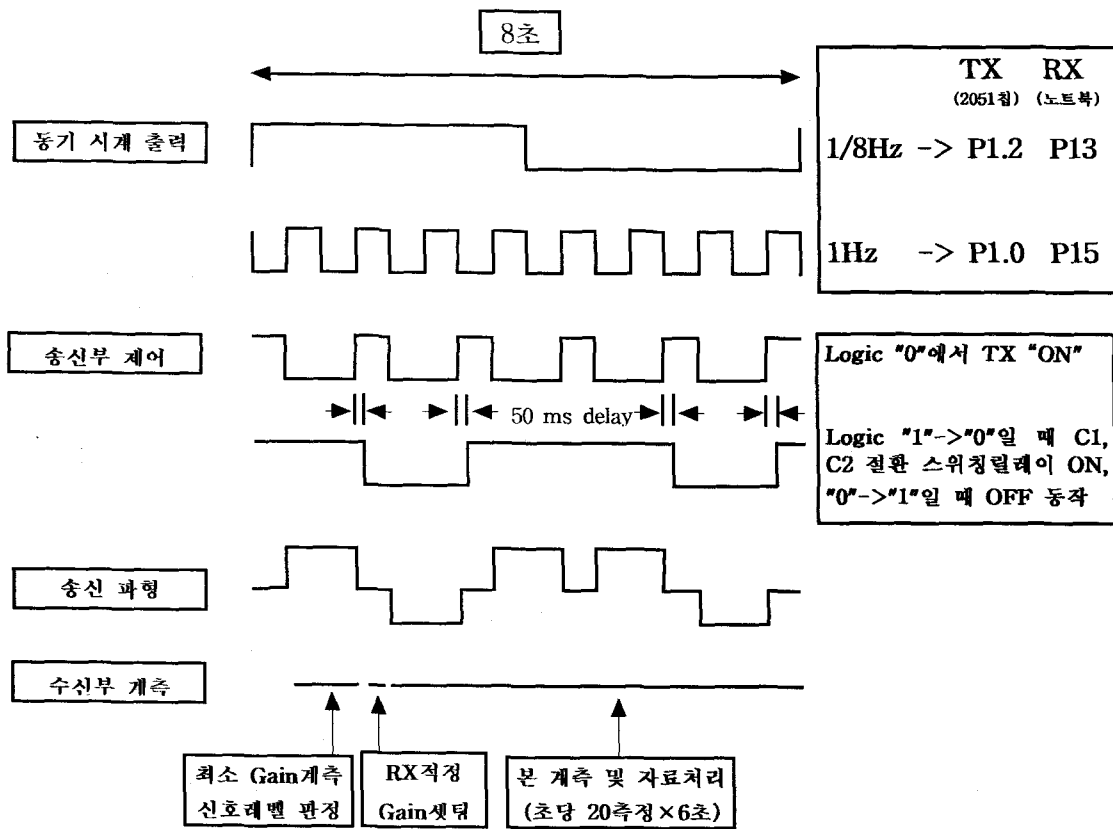


그림 3. 한 측정주기 동안의 계측 Timing 상세 설명도

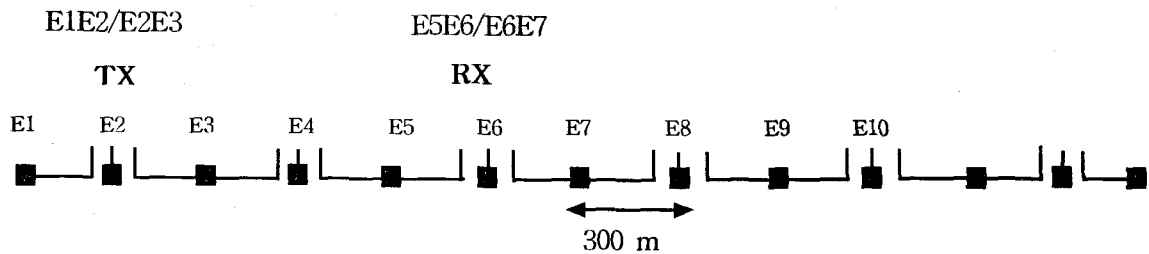


그림 4. 짝수번째 전극에서만 송/수신 계측하는 현장 전극 배치도

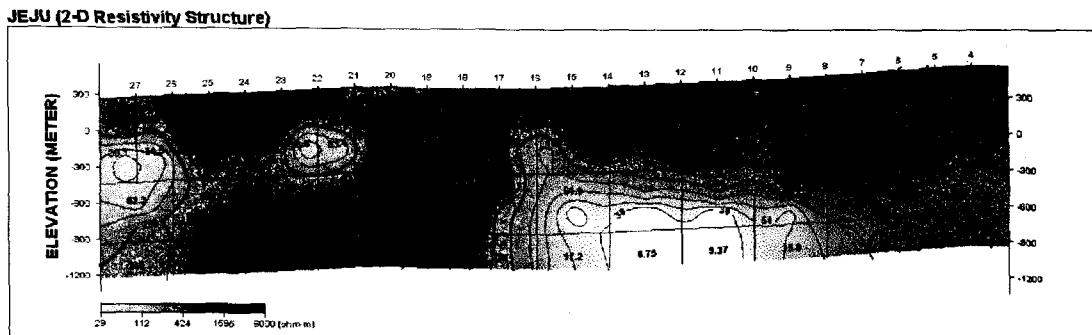


그림 5. 제주 현장 탐사자료의 지하 전기비저항 구조 역산 결과