

연구논문

전선의 전자기유도 현상에 의한 신호 왜곡

정지민¹⁾ · 조성준¹⁾ · 김정호¹⁾ · 송영수²⁾

The Signal Distortion Due to the Electromagnetic Induction Inside a Cable

Ji-Min Jeong¹⁾, Seong-Jun Cho¹⁾, Jung-Ho Kim¹⁾ and Young-Soo Song²⁾

요약 : 현장에서 지표 전기비저항 탐사를 수행할 때 사용되는 전선에는 다중인터폰 전선과 리본 전선 등이 있다. 일반적으로 이들 전선은 전류가 흐를 때 전자기유도 현상이 발생한다. 예를 들어, 다중인터폰 전선은 다수의 전선이 꼬여져 있는 상태이므로 전류가 흐를 때 전자기유도 현상이 발생될 수 있으며, 이것에 의하여 측정된 전기비저항자료가 왜곡될 가능성이 있다. 따라서 이 논문에서는 전기비저항 탐사를 수행할 때에 발생하는 전선 내 전자기유도 현상에 의한 신호 왜곡 현상을 관찰하기 위하여 전기비저항 탐사 시스템에 PXI를 부착하여 전자기 잡음 측정 시스템을 구축하였고 일반적인 탐사용 전선에서 나타나는 전위 파형을 측정하여 이들을 서로 비교함으로써 전자기유도에 의한 신호 왜곡 현상을 밝히고, 이 결과로부터 전선을 이용한 현장탐사의 지침을 제공하고자 하였다. 다중인터폰 전선, 리본 전선을 이용하여 전기비저항 탐사를 수행했을 때 리본 전선에서는 전자기유도에 의한 큰 파형의 왜곡이 관찰되지 않았고 다중인터폰 전선에서는 파형의 왜곡이 관찰되었다. 그러므로 전선 내에서 신호의 왜곡이 관찰되지 않은 리본 전선을 사용하여 전기비저항 탐사를 수행함으로써 보다 양질의 자료를 획득할 수 있을 것이다.

주요어 : 전기비저항 탐사, 전자기유도 현상, 왜곡

Abstract : Electric cables such as multi-interphone cables and ribbon cables are commonly used for data aquisition in the DC resistivity survey. In general, electromagnetic induction may occur in the electric cables when electric current flows through them. In case of using multi-interphone cables in the DC resistivity survey, electromagnetic induction could take place due to the entangled wires of the multi-interphone cables, when the current flows through them. Then, the electromagnetic induction may cause measured DC resistivity data to be distorted. In this study, a monitoring system with PXI (PCI Extention for Instrumentation) was constructed to examine signal distortion on the DC resistivity data, attributed to the electromagnetic induction. Common electric cables used in the DC resistivity survey were tested to observe the waveforms of the electric voltages. The waveforms measured were compared to examine signal distortion due to the electromagnetic induction. The results may provide information on the resistivity data obtained using different electric cables in the DC resistivity survey. The distortion of waveforms attributed to the electromagnetic induction was not observed when using ribbon cables for DC resistivity data aquisition, while the distortion were observed when using multi-interphone. Therefore, the ribbon cables provide better quality of data than other cables in the DC resistivity data aquisition.

Keywords : DC resistivity survey, electromagnetic induction, distortion

서 론

지금까지의 물리탐사는 도심지에서 어느 정도 떨어진 지역에서 주로 수행하였기 때문에 다양한 전자기적 잡음으로부터 자유로웠다. 그러나 최근 토목 및 환경 분야의 지반조사로 물리탐사의 활용 범위가 확대되면서 도심지에서의 물리탐사의 자료 획득빈도가 점차 증가하게 되었고 도심지에 존재하는 다양한 전자기적 잡음의 영향을 고려해야 할 필요성이 요구되었다. 도심지의 모든 인공 구조물은 물리탐사에 있어서 다양한

잡음의 원인이 될 수 있으며 대표적으로 전력선과 전력 전송 선(Pirjola, 1985; Lanzerotti, 1986; Gregori, 1986), 배관망이나 울타리(Dupis, 1984; Shaub and Demenok, 1972), 도로, 철도, 부식 방지 시스템 등이 있다. 또한 Koefoed(1979)는 전기비저항 수직탐사에서 전위, 전류 전극에 근접한 배관망, 울타리, 도로 등의 비균질체의 영향을 연구하였고, Wait and Umashankar(1979)는 매설된 전선의 DC 반응을 분석하였다.

이러한 매우 복잡하고 다양한 전자기적 잡음의 존재로 인하여 측정 자료가 왜곡되고 그 자료를 해석하는데 있어서도 많

*2004년 10월 25일 접수

1) 한국지질자원연구원 지반안전연구부

2) 전북대학교 자원에너지공학과

은 어려움을 겪게 된다. 따라서 물리탐사에서 자료의 질을 향상시키기 위해서는 여러 잡음원들의 특성을 파악하고 이러한 잡음의 영향을 줄이는 방법을 모색하는 것이 무엇보다도 중요하다.

이 연구에서는 전기비저항탐사를 수행할 때에 사용하는 전선 내에서 발생하는 전자기유도에 의한 신호 왜곡 현상에 대하여 고찰하였다. 현장에서 사용되고 있는 리본 전선, 다중인터폰 전선에서 발생할 수 있는 전자기유도 현상에 의한 신호 왜곡의 특성을 파악하고 전선 내 유도 현상이 없을 것으로 생각되는 전선의 자료와 비교하여 여러 가지 전선의 신호 왜곡 정도를 파악하였다.

전자기 잡음 측정 시스템

각종 탐사용 전선에서 발생되는 전자기적 잡음을 측정하기 위하여 측정 시스템을 구축하였다. Fig. 1은 전기비저항탐사기와 오실로스코프 그리고 PXI를 연결하여 전기비저항 탐사를 수행할 때 나타나는 전위 파형을 관찰할 수 있도록 구성되어 있다. 이 시스템의 제어부는 NI(National Instruments)사의 PXI 와 NI 4472 A/D 변환기로 구성되어 있다. PXI는 CompactPCI에 원도우 운영 시스템을 통합하고 타이밍 및 트리거링을 결합하여 만들어진 산업용 컴퓨터로 본 연구에 사용한 제품은 LCD 패널이 탑재되어 있으며 DC 전원으로 구동이 되어 야외에서 측정할 때 효율성을 높일 수 있다. 또한 NI 4472 A/D 변환기(Table 1)는 각기 채널마다 ADC 칩을 가지고 있어 동시에 8채널을 측정하더라도 sampling rate의 감소가 발생하지 않으며 내부에 low pass filter가 탑재되어 있으며 oversampling 을 기법을 이용하므로 aliasing에 대한 고려를 하지 않아도 된다. 측정 범위는 ± 10 V이며, 24 bit의 분해능을 가지고 있어 별도의 gain을 필요로 하지 않는 특징을 가지고 있다. 그리고 이 시스템을 구동하기 위하여 National Instruments에서 만든 Labview™ 소프트웨어를 사용하였다. 이 소프트웨어는 그래픽 아이콘을 이용하여 프로그램을 작성하는 프로그래밍 언어로 다른 텍스트 기반의 언어들과 비교하여 가장 큰 차이점은 인터페이스뿐만 아니라 원시 코드 또한 그래픽 환경으로 이루어져 있으며 컴퓨터를 통하여 자동제어와 계측 시스템을 구축하기에 최적화된 언어이다(곽두영, 2002).

전기비저항 탐사에 영향을 미치는 잡음 중 전선의 유도 현상에 의한 자료의 왜곡을 측정하기 위해서 전기비저항 탐사기를 이용하여 쌍극자 배열로 전기비저항 탐사를 실시하였고 동

시에 PXI를 이용하여 전기비저항 탐사에 영향을 줄 수 있는 잡음을 알아보기 위해서 전위 파형을 관찰하였다.

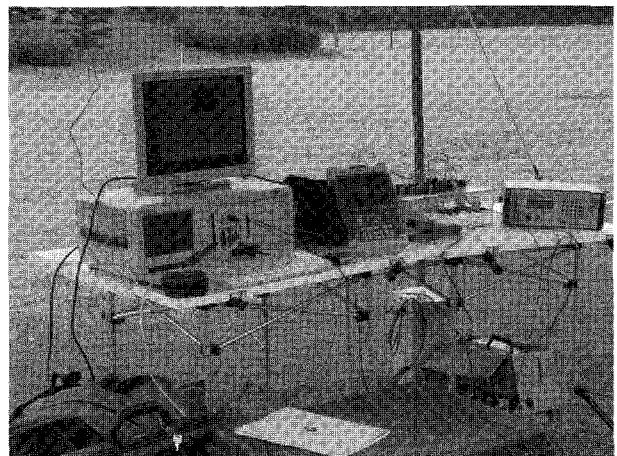
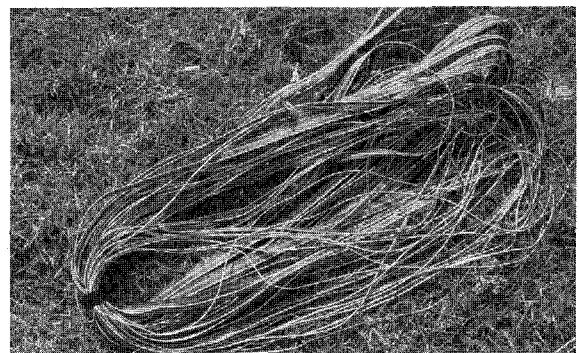
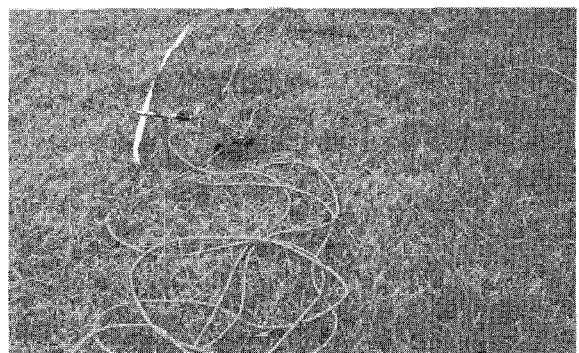


Fig. 1. The measurement system of potential waveforms.



(a)



(b)

Fig. 2. The commonly used cable for DC resistivity survey. (a) Ribbon cable. (b) Multi-interphone cable.

Table 1. Specification of A/D converter NI 4472.

# of chan.	8, simultaneously sampled	Anti alias filter	400 kHz lowpass oversampling
	24 bit 102.4 kS/s down to 1.0 kS/s ± 10 V	Input configuration Analog trigger Digital trigger	Unbalanced differential source ch [0..7] programmable TTL/CMOS

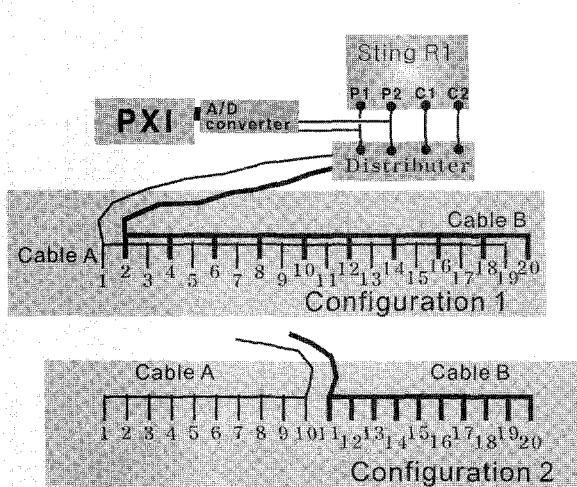


Fig. 3. Schematic diagram of field experiment system and cable configuration.

Fig. 2는 본 연구의 실험에 사용된 단선 전선, 리본 전선, 다중인터폰 전선이다. 리본 전선과 다중인터폰 전선은 측정하려는 잡음 이외의 것을 배제하기 위해서 새롭게 제작하였다. 측정점의 위치는 모두 동일하지만 측정 시간은 다르다. 기본적으로 일정한 위치에서 세 가지 전선에 대하여 쌍극자 배열로 측정하였으며 전극 간격은 5 m, 전류는 50 mA이다. 단선 전선을 이용한 실험은 전류 전극 부분을 흐르는 전류에 의해 발생하는 전자기 유도에 의한 자료의 왜곡이 예상되는 각각의 전위 전극에 각각 단선 전선을 연결하여 자료를 획득하였다. 각각의 전선을 사용하여 자료를 얻은 후 전선 상호간의 유도 현상이 거의 없을 것으로 생각되는 단선 전선 실험과 리본 전선, 다중인터폰 전선 실험과의 오차를 계산하였다. 오차는 같은 지점에서 쌍극자 배열로 측정한 자료를 이용하여 계산하였다. 또한 각각의 전선에 대한 쌍극자 배열 자료 수집과 동시에 발생하는 전위 파형을 관찰하였다.

전위 파형의 왜곡 측정

먼저 전선 내 전자기유도 현상의 발생여부를 관찰하기 위하여 현장에서 많이 사용하고 있는 다중인터폰 전선을 교대로 설치하여 자료를 얻었다(Fig. 3 configuration 1). 전선을 교대로 설치하면 송신 전극인 전류 전극 부분과 전위 전극 부분이 같이 놓이게 되므로 전류 전극 부분에 전류가 흐르면 자료를 얻는 전위 전극 부분에 항상 전자기 유도가 발생할 것이다.

Fig. 4는 전선을 교대로 설치한 실험에서 얻은 자료의 전위 파형이다. 전위 전극 부분과 전류 전극 부분이 가까울 때는 전자기유도 현상이 약한 것을 확인 할 수 있다. 하지만 전류 전극 부분과 전위 전극 부분이 멀어짐으로써 전자기유도 현상이 세지면 전위 파형의 왜곡이 심해지는 것을 확인 할 수 있다.

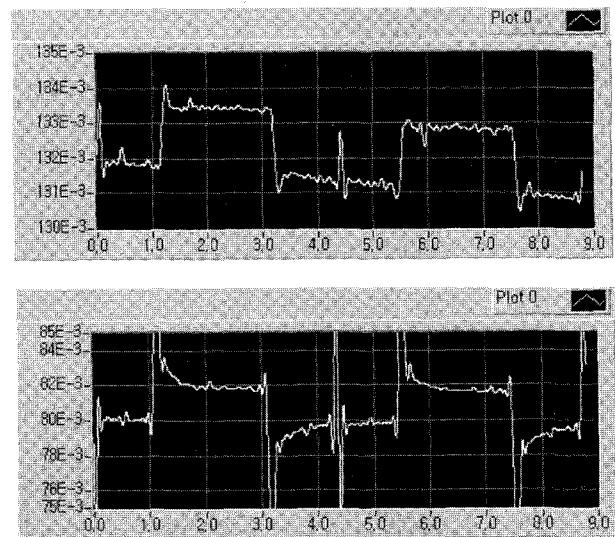


Fig. 4. Potential waveforms when using multi-interphone cable alternately.

Fig. 5는 단선 전선을 이용하여 얻은 자료와 다중인터폰 전선을 이용하여 얻은 자료의 오차를 도시한 것이다. 전류 전극 부분과 전위 전극 부분의 거리가 비교적 짧은 $n=4$ 까지는 10 % 이내의 오차를 보이지만 $n=5$ 이상에서는 20 % ~ 30 % 이상의 오차를 보였다.

이후 실험은 Fig. 3의 configuration 2처럼 전선을 양쪽으로 펼쳐서 쌍극자 배열을 이용하여 실시하였다. 이 경우에는 전류 전극 부분과 전위 전극 부분이 같은 선상에 있는 경우와 떨어져 있는 경우가 발생한다.

Fig. 6은 다중인터폰 전선을 설치하고 전위 전극 부분만 단선 전선을 이용하여 측정한 자료의 전위 파형이다. Fig. 6(a)는 한쪽 전선에 전류 전극과 전위 전극이 동시에 존재할 경우에 얻어진 자료의 전위 파형이다. Fig. 6(b)는 전위 전극과 전류 전극이 다른 전선에 존재할 경우에 얻어진 자료의 전위 파형이다. 전위 전극 부분에 단선 전선을 사용하여 실시한 실험에서 얻은 자료의 전위 파형에서는 전자기유도에 의한 전위 파형의 왜곡이 관찰되지 않는다.

Fig. 7은 리본 전선을 설치하여 얻은 자료의 전위 파형이다. Fig. 7(a)는 한쪽 전선에 전류 전극과 전위 전극이 동시에 존재

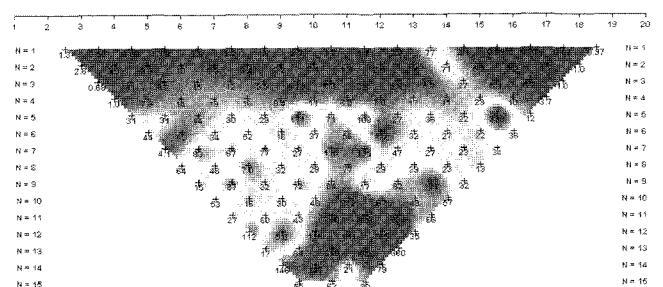
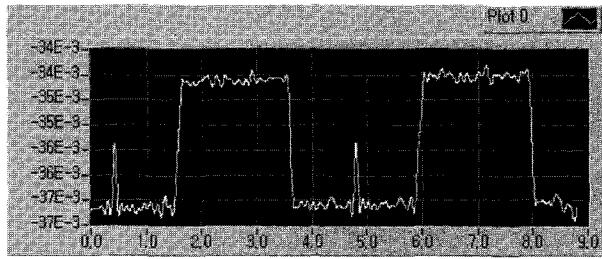
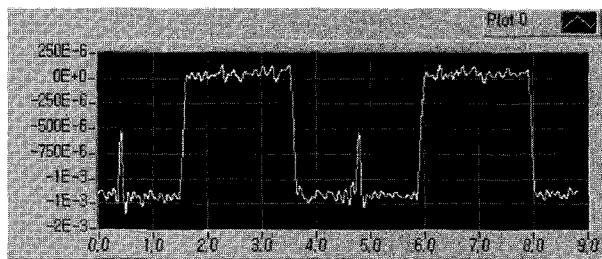


Fig. 5. The error of between single cable and multi-interphone cab

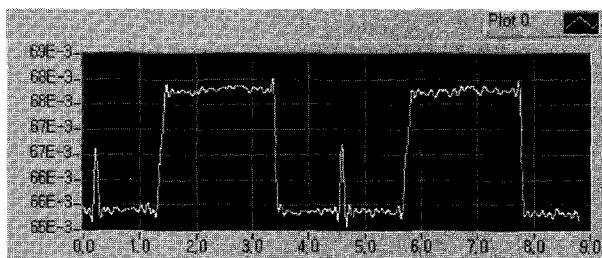


(a)

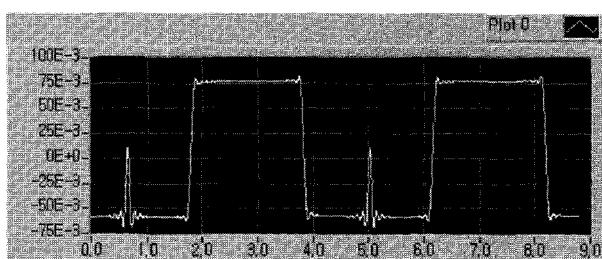


(b)

Fig. 6. Potential waveforms when using single cable. (a) Current and potential electrodes are located on the same cable. (b) Current and potential electrodes are located in the separated cable.



(a)



(b)

Fig. 7. Potential waveforms when using ribbon cable. (a) Current and potential electrodes are located on the same ribbon cable. (b) Current and potential electrodes are located in the separated ribbon cable.

할 경우에 얻어진 자료의 전위 파형이다. Fig. 7(b)는 전위 전극과 전류 전극이 다른 전선에 존재할 경우에 얻어진 자료의 전위 파형이다. Fig. 7의 전위 파형은 전체적으로 단선 전선을 이용하여 측정한 자료의 전위 파형과 크게 다르지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 단선 전선을 이용하여 측정한 자료와 리본 전선을

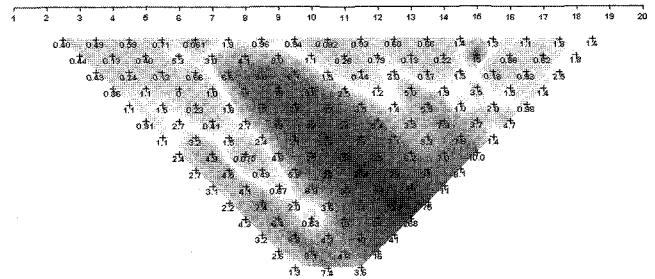
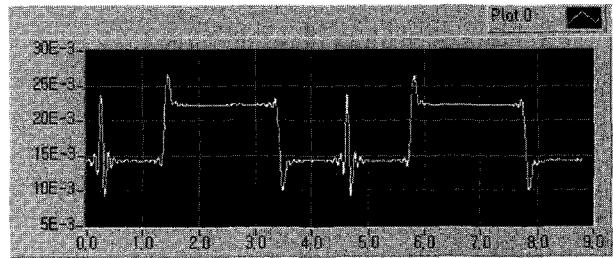
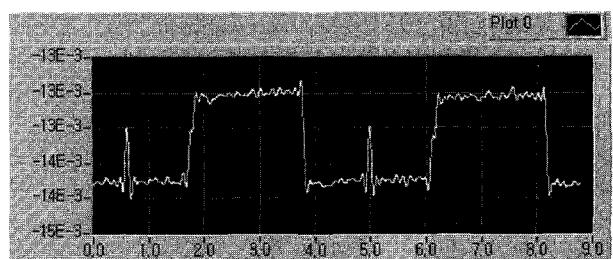


Fig. 8. The error between single cable and ribbon cable.



(a)



(b)

Fig. 9. Potential waveforms when using multi-interphone cable. (a) Current and potential electrodes are located on the same multi-interphone cable. (b) Current and potential electrodes are located in the separated multi-interphone cable.

이용하여 측정한 자료의 오차이다. 전체적으로 10 % 이내의 오차를 가지며, 이것은 리본 전선 내에서는 전자기유도 현상이 심하게 발생하지 않는다는 것을 보여준다. Fig. 8에서 오차가 특히 높게 나온 부분은 단선 전선 자료와 리본 전선 자료의 오차라기보다는 전선 자체의 문제일 것으로 생각된다.

Fig. 9는 다중인터폰 전선을 이용하여 측정한 자료의 전위 파형이다. Fig. 9(a)는 한쪽 전선에 전류 전극과 전위 전극이 동시에 존재할 경우에 얻어진 자료의 전위 파형이다. 전류 전극이 스위칭 할 때 다중인터폰 전선 내에서 전자기유도가 발생하여 스파이크 형태를 보이고 있다. 이것은 스위칭 이후의 측정 구간에 영향을 주어 정확도를 떨어뜨리게 된다. 또한 신호의 크기에 비해 크기가 비슷하거나 더 큰 전자기유도에 의한 스파이크 형태의 신호에 의해서 분해능은 감소하게 될 것이다. 하지만 Fig. 9(b)는 전위 전극과 전류 전극이 분리되어 있는 상태에서 측정된 자료의 전위 파형으로써 스파이크 형태의 신호가 관찰되지 않는다. 즉, 전위 전극과 전류 전극이 각

각의 전선으로 분리되면 전자기유도 현상이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다.

결 론

전기비저항 탐사를 수행할 때 현장에서 사용하고 있는 여러 가지 전선을 이용하여 전자기유도에 의한 잡음을 측정하였다. 전선 내의 전자기유도 현상에 의한 자료의 왜곡을 알아보기 위해서 먼저 단선 전선으로 자료를 얻어 보았고 현장에서 사용되고 있는 리본 전선, 다중인터폰 전선을 이용하여 자료를 얻어 보았다. 현장에서 많이 사용되는 다중인터폰 전선은 전선 내에서 전선간의 전자기유도 현상에 의해서 같은 전선 상에 전류 전극과 전위 전극이 동시에 존재할 때 그리고 n 이 증가 할수록 전위 파형의 왜곡이 심해진다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 비하여 리본 전선은 다중인터폰 전선보다 전자기유도 현상에 의한 전위 파형의 왜곡이 적게 나타남을 확인할 수 있었다. 결과적으로 전자기유도 현상이 나타나지 않는 단선 전선을 이용하면 현장에서 전기비저항 탐사를 할 때 양질의 자료를 얻을 수 있을 것이다. 하지만 단선 전선을 이용한 전기비저항 탐사는 효율성에 있어서 매우 불리하다. 그러므로 전선 내에서 전자기유도 현상이 거의 관찰되지 않았던 리본 전선을 사용하면 양질의 자료를 획득할 때 단선 전선과 비교해서 편리할 것으로 생각되며 탐사의 효율성 측면에서도 다중인터폰 전선과 비교할 때 나쁘지 않다. 따라서 전기비저항 탐사를 할

때 전선간의 유도 현상에 의한 신호의 왜곡이 적게 관찰된 리본 전선을 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

참고문헌

- 곽두영, 2002, Labview 컴퓨터 기반의 제어와 계측 solution, Ohm사.
- Dupis, A., 1984, Induction studies in continental region, including A. M. T. prospecting for natural resources, 7th IAGA EM Induction Workshop.
- Koefoed, O., 1979, *Geosounding Principles: Resistivity Sounding Measurements, Methods in Geochemistry and Geophysics*, Elsevier Science Publication.
- Lanzerotti, L. J., and Gregori, G. P., 1986, *Telluric Currents: The natural Environment and Interactions with Man-made System, The Earth's Electrical Environment (Studied in Geophysics)*, National Academy Press, 232-257.
- Pirjola, R., 1985, On Currents Induced in Power Transmission System during Geomagnetic Variation, *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, **104**, 2825-2831.
- Shaub, Yu. B., and Demenok, V. I., 1972, Geoelectric Equipment Having High Noise Attenuation, *Geofizicheskaya apparatura*, **48**, 38-41. (in Russian)
- Wait, J. R. and Umashankar, K. R., 1979, Analysis of the Earth Resistivity Response of Buried Cables, *Pure and Applied Geoph.*, **117**, 711-742.