

스펙트르인공분극탐심곡선의 특성연구

리일경, 리성국

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지질탐사사업을 현대화하자면 앞선 탐사방법을 적극 받아들여야 합니다.》(《김정일선집》
증보판 제14권 505페이지)

스펙트르인공분극법은 시간령역인공분극법이나 두주파수인공분극법과 달리 복소비저항모형에 기초하여 암석의 비저항, 분극률, 완화시간, 주파수지수분포특성을 밝히는것으로 하여 지구물리탐사에서 널리 리용되고있다.

론문에서는 주파수에 따르는 복소비저항모형의 비저항변화특성을 분석한데 기초하여 스펙트르인공분극탐심곡선의 특성을 밝혔다.

1. 복소비저항모형

보통 주파수령역인공분극법에서는 2개의 주파수 혹은 여러개의 주파수에서 겉보기비저항이나 겉보기분극률을 측정하여 암석매질의 비저항과 분극률분포를 밝힌다.

$$\rho_{\eta} = \rho_0 / (1 - \eta) \quad (1)$$

여기서 ρ_0 는 암석매질의 비저항, η 는 암석매질의 분극률, ρ_{η} 는 분극효과가 있을 때 암석매질의 비저항이다.

암석매질의 비저항과 분극률만을 리용하면 인공분극현상을 완전히 묘사할수 없지만 복소비저항모형을 리용하면 암석매질에서의 인공분극현상을 완전히 묘사할수 있다.

공극통로에 금속립자와 점토립자가 있을 때 암석매질에서의 분극현상과 등가회로는 그림 1과 같다.

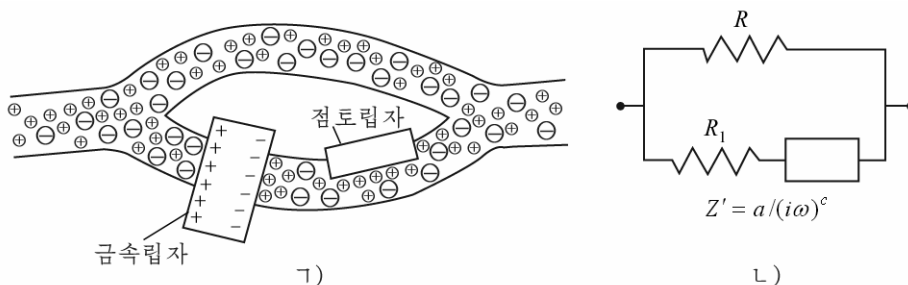


그림 1. 공극통로에 금속립자와 점토립자가 있을 때 암석매질에서의 분극현상(1)과 등가회로(2)

복소비저항모형(Cole-Cole모형)은 다음과 같다.[1]

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - \eta \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right] \quad (2)$$

여기서 ρ_0 는 주파수가 령인 경우 즉 직류가 흐를 때 비저항, η 는 분극률, i 는 허수, τ 는

완화시간, c 는 주파수지수, ω 는 전류의 각주파수이다.

복소비저항을 실수부와 허수부로 표시하면 다음과 같다.

$$\text{Re}[\rho(\omega_k)] = \rho_0 \left[1 - \eta \left(1 - \frac{R}{R^2 + F^2} \right) \right] \quad (3)$$

$$\text{Im}[\rho(\omega_k)] = -\rho_0 \eta \frac{R}{R^2 + F^2} \quad (4)$$

$$|\rho(\omega_k)| = \sqrt{\{\text{Re}[\rho(\omega_k)]\}^2 + \{\text{Im}[\rho(\omega_k)]\}^2} \quad (5)$$

여기서 $\omega_k = 2\pi f_k$, $k = \overline{1, n}$, f_k 는 k 번째 주파수, n 은 리용한 주파수의 수이고 $R = (\omega_k \tau)^c \cos(c\pi/2) + 1$, $F = (\omega_k \tau)^c \sin(c\pi/2)$ 이다.

주파수에 따르는 복소비저항의 변화특성을 밝히기 위하여 복소비저항모형의 파라미터들을 변화시키면서 모의계산을 진행하였다.

직류가 흐를 때 복소비저항모형의 비저항이 $100\Omega\text{m}$ 이고 분극률이 0.3이며 완화시간이 0.4인 경우 주파수지수가 0.2, 0.5, 0.8로 변화될 때 주파수에 따르는 복소비저항의 실수부와 허수부, 유효비저항의 변화특성은 그림 2와 같다.

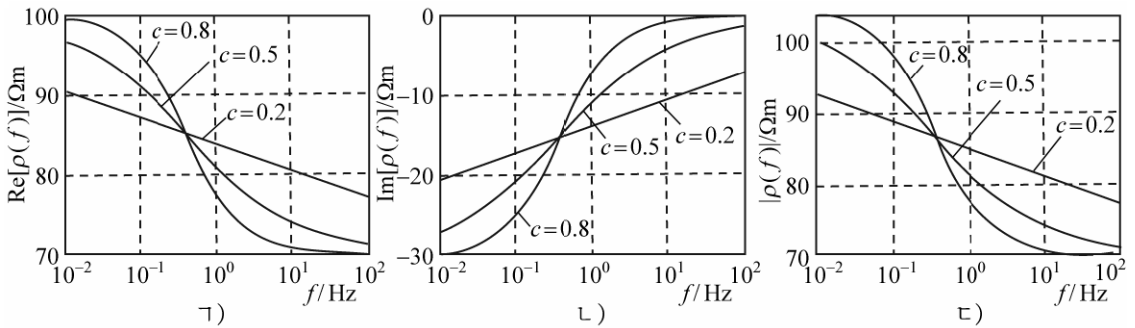


그림 2. 주파수지수가 0.2, 0.5, 0.8로 변화될 때 주파수에 따르는 복소비저항의 실수부(㉠)과 허수부(㉡), 유효비저항(㉢)의 변화특성

그림 2에서 보는바와 같이 주파수지수가 커질수록 주파수에 따라 복소비저항은 심하게 변화되는데 특히 $0.1 \sim 10\text{Hz}$ 에서 급격히 변화된다.

직류가 흐를 때 복소비저항모형의 비저항이 $100\Omega\text{m}$ 이고 분극률이 0.3이며 주파수지수가 0.5인 경우 완화시간이 0.2, 0.5, 0.8로 변화될 때 주파수에 따르는 복소비저항의 실수부와 허수부, 유효비저항의 변화특성은 그림 3과 같다.

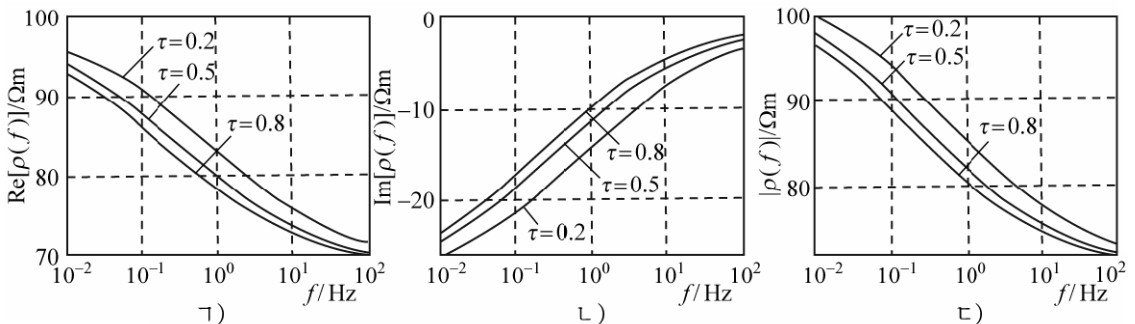


그림 3. 완화시간이 0.2, 0.5, 0.8로 변화될 때 주파수에 따르는 복소비저항의 실수부(㉠)과 허수부(㉡), 유효비저항(㉢)의 변화특성

그림 3에서 보는바와 같이 주파수에 따르는 복소비저항의 변화는 거의 선형적인데 완화시간이 길어짐에 따라 복소비저항의 실수부곡선과 유효비저항곡선은 아래로, 허수부곡선은 위로 평행이동한다.

직류가 흐를 때 복소비저항모형의 비저항이 $100\Omega\text{m}$ 이고 주파수지수가 0.5이며 완화시간이 0.2인 경우 분극률이 0.3, 0.4, 0.5로 변화될 때 주파수에 따르는 복소비저항의 실수부와 허수부, 유효비저항의 변화특성은 그림 4와 같다.

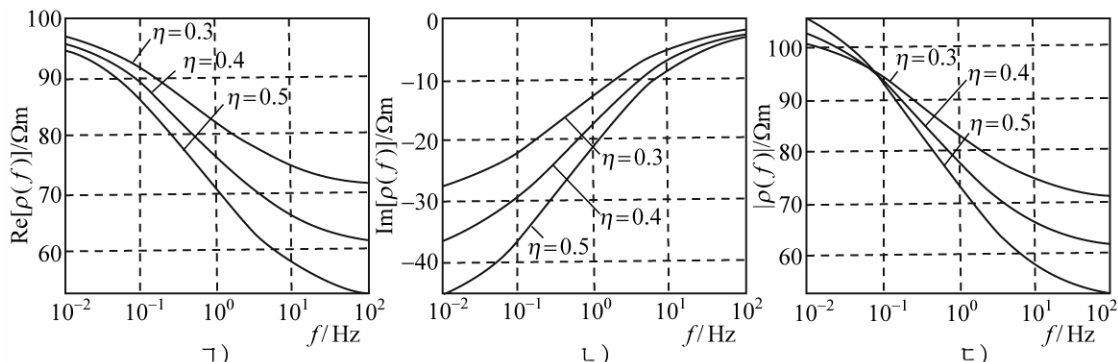


그림 4. 분극률이 0.3, 0.4, 0.5로 변화될 때 주파수에 따르는 복소비저항의 실수부(a)와 허수부(b), 유효비저항(c)의 변화특성

그림 4에서 보는바와 같이 분극률이 커지는데 따라 주파수에 따르는 복소비저항의 변화률도 커지는데 특히 $0.1\sim 10\text{Hz}$ 에서 변화률이 가장 크다.

이와 같이 복소비저항모형의 파라미터들이 변하는데 따라 복소비저항은 $0.1\sim 10\text{Hz}$ 에서 가장 심하게 변화된다. 이로부터 분극성매질의 복소비저항은 매질의 분극률과 완화시간, 주파수지수뿐만아니라 주파수에 따라 변한다는것을 알수 있다.

2. 스펙트르인공분극탐심곡선의 특성

스펙트르인공분극탐심곡선으로부터 땅속매질의 비저항, 분극률, 완화시간, 주파수지수를 결정하기 위하여서는 적어도 4개의 주파수에서 측정을 진행하여야 한다.

주파수에 따르는 복소비저항모형의 변화특성과 주파수영역인공분극탐사기들의 특성으로부터 측정주파수들로서는 0.1, 0.5, 2, 10Hz를 선택하는것이 합리적이다.

우리는 HK형과 KH형 4층모형들을 설정하고 0.1, 0.5, 2, 10Hz의 주파수에서 얻은 스펙트르인공분극탐심곡선의 특성들을 분석하였다. 이때 4층모형들의 파라미터는 표와 같이 설정하였다.

표. 4층모형들의 파라미터

모형	지층번호	$\rho_0/\Omega\text{m}$	h/m	η	τ	c
HK형	1	100	10	0.01	0.01	0.01
	2	5	5	0.4	0.2	0.5
	3	1 000	30	0.03	0.01	0.01
	4	100	∞	0.01	0.01	0.01
KH형	1	100	10	0.01	0.005	0.01
	2	500	25	0.03	0.01	0.02
	3	5	10	0.4	0.2	0.05
	4	1 000	∞	0.01	0.01	0.01

표에서 보는바와 같이 HK형모형에서는 지표로부터 두번째 층이, KH형모형에서는 세번째 층이 탐사하려는 지층이다.

매층의 유효비저항을 식 (5)에 의하여 계산하고 선형러과법[2]으로 탐심곡선들을 얻었다. 이때 야외조건을 재현하기 위하여 매 측정점에서 측정값의 3%에 해당하는 우연장해를 추가하였다.

4층모형들에 대한 탐심곡선은 그림 5와 같다.

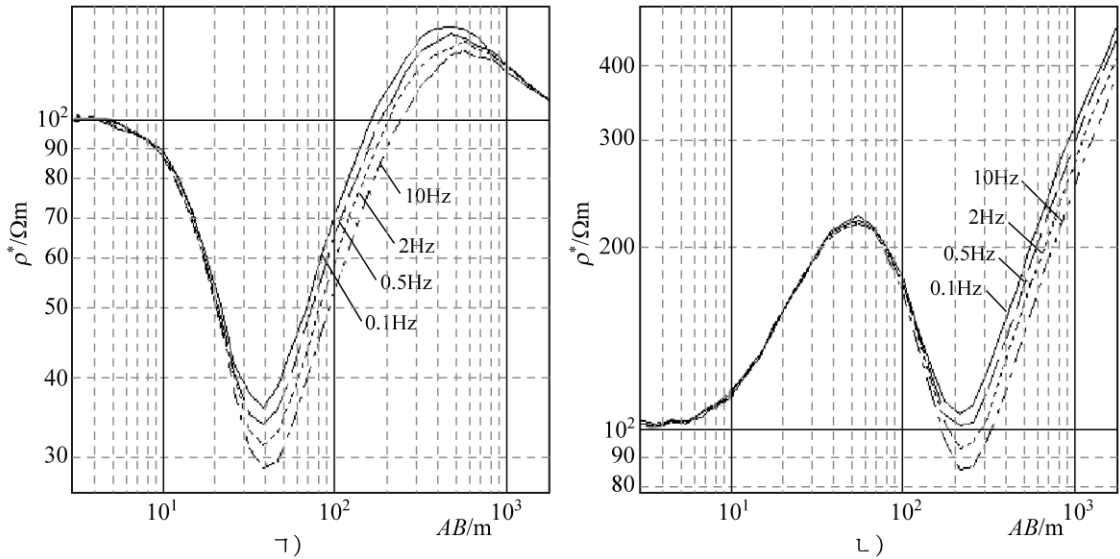


그림 5. 4층모형들에 대한 탐심곡선

ㄱ) HK형, ㄴ) KH형

그림 5에서 보는바와 같이 탐심곡선들에는 탐사대상인 두번째 층(HK형모형)과 세번째 층(KH형모형)이 명백하게 반영될뿐만아니라 탐심곡선들이 주파수에 따라 뚜렷하게 구별된다. 이로부터 스펙트르인공분극탐심법에서 린접한 주파수의 비를 5배정도로 설정하고 얻은 탐심곡선들을 복소비저항모형을 리용하여 해석하면 층상매질의 비저항, 분극률, 완화시간, 주파수지수를 정확히 결정할수 있다는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) 분극성매질의 복소비저항은 0.1~10Hz 주파수대역에서 심하게 변화되는데 주파수 지수와 분극률이 클수록 그 변화가 더욱 심하다.

2) 스펙트르인공분극탐심법에서는 린접한 주파수들의 비를 5배정도로 설정하고 측정을 진행하면 주파수에 따라 탐심곡선들은 뚜렷하게 구별된다.

참 고 문 헌

- [1] André Revil et al.; Geophysics, 82, 2, E97, 2017.
- [2] Irfan Akca et al.; Geophysical Prospecting, 62, 35, 316, 2014.

Study on Characteristic of Curves of Spectral Induced Polarization Sounding

Ri Il Gyong, Ri Song Guk

In this paper we analyzed the properties of the change of the complex resistivity model and studied the characterization of curves of spectral induced polarization sounding on the basis of the model.

Keywords: Cole-Cole model, spectral induced polarization