

**한반도 중부권 지각물질의 구조와 물성 연구(5):**

Free impedance와 Step force법을 이용한 수진기의 특성측정

**Structure and Physical Properties of Earth Crust Material  
in the Middle of Korean Peninsula(5) :**

Characteristic Measurement of Geophone using Free Impedance  
and Step Force Method

---

유 영 준(You, Young June)

대한광업진흥공사 기술사업부

송 무 영(Song, Moo Young)

충남대학교 지질학과

---

**요약/Abstract**

可動 코일형 受振器의 固有定數를 free impedance와 step force법에 의해 결정할 수 있다. 전자의 방법으로는 수진기의 固有周波數( $f_0$ ), 減衰定數( $h_0$ )와 motional impedance로 부터 慣性質量( $m$ ) 등을, 후자의 방법으로는 感度( $G$ )를 결정하는 것이 바람직하다. 특히 후자의 방법에 의한 측정에서 측정 시스템 자체의 고유한 長週期에 의한 잡음발생 문제를 보정해야 한다. 이들의 수진기 고유정수로부터 주파수 특성분석, 즉 위상특성과 진폭특성을 분석한 결과, 고유주파수를 경계로하여 수진기가 加速度計와 變位計로 작용함을 알 수 있다.

The natural constants of moving coil type geophone can be determined by free impedance and step force method. The former method was desirable for the measurement of natural frequency( $f_0$ ), inertial mass( $m$ ) and damping factor( $h_0$ ), but the latter method for sensitivity( $G$ ). In particular, the value by the latter method should be corrected for the noise by the long period movement of measurement device. The results of frequency characteristics from these constants operate the accelerometer and displacement system in the boundary of natural frequency.

## 서론

電磁式 振動計는 진동측정의 檢出器로서 주로 사용되고 있으며, 이는 어떤 물체가 운동할 때 이를 전기적 신호로 변환시키는 센서, 즉 受振器를 말하며 영어로는 geophone, detector, receiver, pick-up 등 여러가지로 불리고 있다. 즉 지반의 진동이라고 하는 機械的인 양이 입력되어 적당한 電氣的인 양으로 변환시켜 출력되는 장치이다. 이것을 이용하여 天災, 人災 등에 의해 발생된 지면의 운동을 측정하여 왔고, 地震學者들은 地震, 火山 그리고 地構造 活動 등을 예측하고 분석해 왔다. 특히 地球物理 學者들은 인공 에너지원을 이용하여 천부의 地質構造, 石油探査 등 다양한 분야에 이용하고 있다.

受振器의 周波數 反應은 기계적 에너지나 음향 방출원이 임계적으로 작동하는 주파수 범위에서만 정보 제공이 가능하다. 따라서 입력신호에 대한 출력신호의 주파수 반응을 周波數 特性曲線이라고 하며, 이 특성곡선은 振幅特性과 位相特性을 제공하게 된다.

Step force법에 의해 수신기의 固有定數, 즉 固有周波數, 減衰定數, 感度(sensitivity) 등을 용이하게 결정하는 방법을 狐崎 等(1964)이 제시하였다. 이것은 진동계에 단 계함수(step function)형의 가속도를 부여하고, 그의 incidental response로부터 모든 정수 특히 감도를 결정할 수 있다는 것이 핵심이다. 감쇠정수와 고유주파수는 감도를 결정하는 데 필요한 정수이다. 이 정수는 일반적으로 널리 알려진 free impedance의 측정으로부터 간단히 결정할 수 있다.

본 연구에서는 free impedance로부터 수신기의 고유주파수, 감쇠정수 그리고 관성질량(inertial mass)을 결정하고, step force법을 이용하여 감도를 결정할 것이다. 기타의 수신기의 고유정수인 코일의 인덕턴스가 있는데 이는 Universal Bridge 등을 이용하면 쉽게 측정할 수 있다.

## 기 초 이 론

수신기는 영구자석과 코일로 구성되어 있고, 電磁運動의 수동적 탐지기이다. 자석은 수신기 내부에 고정되어 있고, 코일은 관성요소로서 작용하며 스프링에 의해 케이스로부터 표류되어 있다. 電磁力은 코일과 자석사이의 相對運動에 의해 발생되며 이때 유도된 전압은 相對速度에 비례한다. 可動 코일형 변환기 형태의 수신기의 경우 機械-電氣 變換系로 구성되어 있다. 이에 관한 모식도가 Fig.1과 같다.

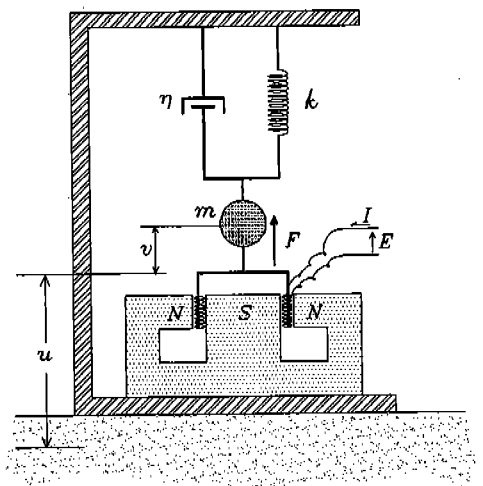


Fig.1 Geophone element model of moving coil type.

기계측과 전기측을 분리하여 전기회로로 표현하면 Fig.2의 等價回路圖와 같다. 이때 F, y를 기계측으로, e, i를 전기측으로 생각할 수 있다(狐崎, 1969).

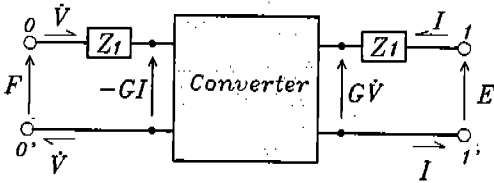


Fig.2 Equivalent circuit of geophone.

기계측과 전기측의 운동방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{기계측: } F = Z_m y - G i \quad (1)$$

$$\text{전기측: } e = Z_i i + G y$$

여기서, F: 지반의 운동에 의해 발생된 外力,

$Z_m$ : 수진기의 기계적 임피던스

$Z_o$ : 수진기 내부 임피던스,

y: 진자의 상대속도

G: 전압-속도계수, 즉 감도,

i: 전류 e: 전압

단, 이 방정식은 다음의 조건을 만족한다.

$$F \equiv F_m - m x \quad (2)$$

$$Z_o = R_o + L_o p, \quad (p = d/dt) \quad (3)$$

$$Z_m = m p + \eta + \frac{k}{p} = m(p + 2\epsilon_o + \frac{n^2}{p}) \quad (4)$$

$$= m(p + 2n h_o + \frac{n^2}{p})$$

$$h_o \equiv \frac{\epsilon_o}{n}, \quad 2\epsilon_o \equiv \frac{n}{m}, \quad n^2 \equiv \frac{h_o}{m} \quad (5)$$

여기서,  $F_m$ : 추에 작용하는 외력,

m: 추의 질량

$R_o$ :  $Z_i$ 의 순수한 저항분,

$L_o$ :  $Z_i$ 의 인덕턴스

$\eta$ : 유체의 마찰계수, 過電流 손실등에 의한 영향을 포함하는 요소

k: 스프링의 stiffness,

n: 각 주파수(2 f0)

$h_o$ : 無負荷時 감쇠정수(damping factor,  $R = \infty$  일때)

### Free impedance에 의한 측정

(1)식에서  $F=0$ 로 하면 振動計는 고정된 것이므로 진자에 외력을 가하지 않는 것이 된다. 전기단자에 기전력 e를 외부로부터 부여하면 (1)식은

$$e = (Z_o + \frac{G^2}{Z_m}) i \quad (6)$$

e가 正弦波라고 하면  $p=j\omega$  이므로 ( $\omega=2\pi f$ ), free impedance  $Z_f$ 는

$$Z_f \approx (\frac{e}{i})_{F=0} = Z_o + \frac{G^2}{Z_m} = Z_o + Z_m \quad (7)$$

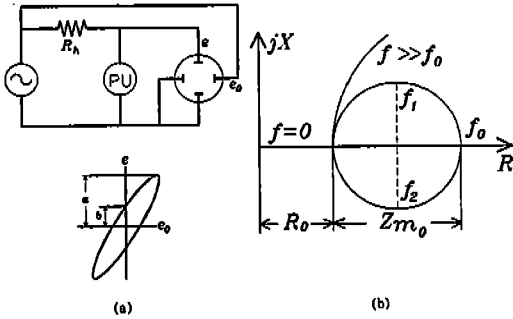
단, 여기서,

$$\begin{aligned} Z_m &\equiv \frac{G^2}{Z_m} \\ &= Z_f - Z_o \\ &= \frac{G^2}{2h_o m n} \frac{1}{\frac{j}{2nh_o} (\frac{\omega - n^2}{\omega}) + 1} \end{aligned} \quad (8)$$

이때 j는 虛數部를 표시하는  $\sqrt{-1}$ 이며,  $Z_m$ 은 motional impedance라고 하는 전기적인 양이다. 보통  $Z_m$ 은  $\omega = n$  즉 공진점 부근에서 크게 변화하며 複素數 平面上에 궤적을 표시하면 원형의 형태가 된다. 실험 장치의 배치도는 Fig. 3a이고, 이때 코일의 인덕턴스 영향이 적은 경우

Fig. 3b와 같다. 보통은 이것을 이용하여 수진기의 고유정수  $h_o$ ,  $Q$ 등을 결정할 수 있다. 이 원의 직경은  $\omega=n$ 에서의 임피던스로서 다음의 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{G^2}{2h_o m n} (\equiv Z_{m0}) \quad (9)$$



- (a) Experimental device and Lissajous figure(below).
- (b) Typical free impedance curve on the complex plane.

Fig.3 Principle of free impedance measurement.

이것을 motional impedance라고 하며 이 식으로부터 진자의 질량, 결국은 수진기의 慣性質量(inertial mass,  $m$ )을 결정할 수 있다.

보통 전기회로에서 알려진 振動計의 共振切斷  $Q$  라고하는 값을 다음의 식과 같이 정의할 수 있다.

$$\frac{1}{Q} = \frac{f_2 - f_1}{f_o} \quad (10)$$

$Q$ 를 감쇠정수  $h_o$ 와 결합시키면

$$h_o = \frac{1}{2Q} \quad (11)$$

이 되며, 결국 (10), (11)식으로부터

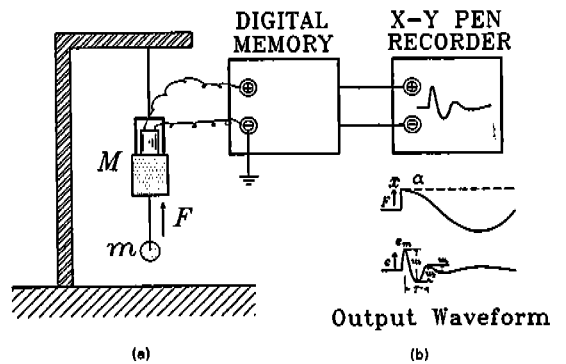
$$h_o = \frac{f_2 - f_1}{2f_o} \quad (12)$$

이 된다.

### Step force 법의 원리

진동계의 전기단자에 외부저항  $R$ 을 부하하고, 임피던스  $Z_o$ 속에서의 인덕턴스  $L_o$ 의 영향을 무시하자. step force 형의  $F$ 를 진동계에 부여할 때 Fig.4와 같이 된다. Fig. 4a는 본 방법의 측정 시스템을 나타내며, Fig. 4b는 step force를 가할 때 부가된 힘과 측정 시스템으로부터의 반응이다. 이때 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$F = maU(t) \quad (13)$$



- (a) Experimental device.
- (b) Step force and response.

Fig.4 Measurement by step force method.

여기서

$$U(t)=0 : t < 0$$

$$1 : t \geq 0$$

이때 출력전압  $e = e(t)$ 는 過渡解로서 구하면

$h < 1$ 일 때

$$e = \alpha \frac{GR}{(R+R_0)} \frac{\exp(-nht)}{n\sqrt{1-h^2}} \sin n\sqrt{1-h^2}t \quad (14)$$

$h > 1$ 일 때

$$e = \alpha \frac{GR}{(R+R_0)} \frac{\exp(-nht)}{n\sqrt{h^2-1}} \sinh n\sqrt{h^2-1}t \quad (15)$$

$h = 1$ 일 때

$$e = \alpha \frac{GR}{(R+R_0)} \exp(-nht) \quad (16)$$

단, 여기서

$$h = h_0 + \frac{G^2}{2mn(R+R_0)}$$

$$= h_0, (R = \infty) \quad (17)$$

이제 여기서 peak  $e_m$ 은 다음의 식으로 쓸 수 있다.

$$e_m = \alpha \frac{G}{n} \frac{R}{R+R_0} \frac{1}{P(h)} \quad (18)$$

단,

$$P(h) = \exp\left\{\frac{h}{\sqrt{1-h^2}} \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-h^2}}{h}\right\} : h < 1$$

$$P(h) = \exp\{1\} : h = 1$$

$$P(h) = \exp\left\{\frac{h}{\sqrt{h^2-1}} \tanh^{-1} \frac{\sqrt{h^2-1}}{h}\right\} : h > 1 \quad (19)$$

따라서 수진기의 感度(sensitivity)는 (18) 식으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$G = \frac{e_m}{\alpha} \frac{R+R_0}{R} nP(h) [V/kine] \quad (20)$$

既知의  $\alpha$ 에 대하여  $e_m$ 을 산출하면 감도  $G$ 값을 구할 수 있다. 이때  $n, R, R_0, h$  등의 값을 free impedance  $Z_f$ 로부터 구할 수 있으나 step force법으로부터도 구할 수 있다.

$R_0$ 는 직류저항이므로 테스터 등을 이용하여 직접 측정하면 되고,  $R$ 은 실험자가 부여하는 저항이므로 문제가 없다.  $n$ 과  $h_0$  등은 step force  $F$ 에 대하여 출력전압  $e(t)$ 의 기록으로부터 다음의 방법으로 구할 수 있다.

(1)  $h_0$ 의 결정방법

Fig.4b의 아래의  $w_1, w_2, \dots, w_N$ 을 출력전압의 peak-peak의 상대진폭이라고 하면 대수 감쇠율은

$$\lambda = \log_{10}(\omega_1/\omega_2)$$

$$= \log_{10}(\omega_{N-1}/\omega_N) \quad (21)$$

로 정의할 수 있다. 이를 이용하여  $h_0$ 를 구하면

$$h = \frac{\lambda}{\sqrt{K^2 + \lambda^2}} = \frac{\lambda}{K\sqrt{1 + (\lambda/K)^2}}$$

$$\approx \lambda/K \quad (22)$$

$$\approx 0.733\lambda$$

여기서,  $\lambda < 0.4$ : 오차 5% 이하

$\lambda < 0.2$ : 오차 1% 이하

단,  $K = \pi \log_{10} e = 1.364, 1/K = 0.733$ 이다.

(2) n 값의 결정방법

Fig.4b의 T' 을 정의하면, 고유주기 T<sub>0</sub>, 고유주파수 f<sub>0</sub>, 고유 각주파수 n등을 구할 수 있다.

$$T_0 = T' \sqrt{1-h^2} \approx T' \quad (23)$$

여기서, h < 0.30 : 오차 5% 이하  
h < 0.14 : 오차 1% 이하

$$f_0 = 1/T_0, \quad n = 2\pi f_0 \quad (24)$$

이다.

(3) α 값의 결정

上下振動의 경우 Dix의 방법을 이용하면 편리하다. Fig.4처럼 step force형의 α를 부여하는 것이 될 수 있다. 스프링과 수진기의 고정대를 振動計(S-M계)라고 하고 그의 질량을 M이라고 하자. 가벼운 실 등으로 매달은 추의 질량을 m이라고 하고 이를 위로 끌어올릴 때 m에 의한 중력이 순간적으로 S-M系로부터 제거된다. 스프링의 질량이 M에 비해 충분히 작다면

$$x = a \cos(2\pi f_s t)$$

단 m을 위로 올릴 때의 순간을 t=0라고 하면, f<sub>s</sub>는 S-M계의 고유 공진주파수가 된다. 즉 α는 진동계에 작용하는 힘 F (=Ma)와 추의 질량에 의해 작용하는 중력 W (=mg)이 같게 되므로

$$\alpha = \frac{m}{M}g \quad (25)$$

이다.

실험 방법

실험에 사용한 수진기는 최근 OYO회사에서 제작판매했던 시추공용 수진기(Model 3040)에 사용된 것으로 모델번호 HS-J-K3A의 수직성분 소자이다. 이것을 이용하여 free impedance 측정과 step force 법에 의해 수진기의 固有定數, 즉 減衰定數 h<sub>0</sub>, 固有周波數 f<sub>0</sub>, 感度 G, 慣性質量 m 등을 결정할 것이다.

Free impedance 측정

Free impedance 측정은 Fig.3과 같이 실험기기 설치도 및 등가회로로 표현할 수 있다. 이때 주파수에 따른 입력전압 및 출력전압 e는 Synchroscope(Oscilloscope)의 브라운관을 통하여 읽게 되나 본 실험의 경우 정확도를 높이기 위해 디지털 타입의 테스터를 이용하여 측정하였다. 또한 주파수 발생기인 Function generator도 정확도가 높은 디지털 타입을 사용하였다.

임피던스 Z는 전압 E와 전류 I를 측정하면 다음의 관계로부터 구할 수 있다.

$$Z = \frac{E}{I} \quad (26)$$

그러나 전류 I의 값을 측정하기가 매우 어려우므로 입력전압 E<sub>0</sub>의 값으로부터 추정하면 매우 편리하다. 보통 R<sub>b</sub> >> |Z| 이므로

$$I \approx \frac{E_0}{R_b} \quad (27)$$

이 된다. 이때 (27)식을 (26)식에 대입하면

$$Z = \frac{E}{E_0} R_h \quad (28)$$

$$= |Z| \epsilon^{j\theta} \quad (29)$$

$$|Z| = \left| \frac{E}{E_0} \right| R_h \quad (30)$$

여기서

$$E = E_m \epsilon^{j(\omega t + \theta)} \quad (\equiv E_m \cos(\omega t + \theta))$$

$$E_0 = E_0 \epsilon^{j\omega t} \quad (\equiv E_0 \cos \omega t)$$

$\theta$ 는 位相差, 즉  $= \sin^{-1}(b/a)$ 이다. (29)식을 다시 쓰면

$$Z = |Z| \epsilon^{j\theta} = |Z| (\cos\theta + j \sin\theta) \quad (31)$$

이때

$$R = |Z| \cos\theta \quad (32)$$

$$X = |Z| \sin\theta$$

으로 놓으면

(31)식은

$$Z = R + jX \quad (33)$$

의 형태이므로 Fig.3b와 같이 횡축을 실수축(R), 종축을 허수축(X)으로 하는 복소수 평면상에 표시할 수 있다.

본 실험에 사용된 직류저항은  $R_h = 99$ , 800 ohm이고, 수진기의 내부저항은  $R_0 = 215$  ohm이다. 이때 실험에 의해 측정된 결과가 Fig.5와 같이 표현할 수 있다. 이로부터 계산된 결과는

$$\begin{aligned} f_0 &= 28.0\text{Hz} \\ f_1 &= 19.7\text{Hz} \\ f_2 &= 39.3\text{Hz} \end{aligned} \quad (34)$$

이다. 따라서 (34)식의 값을 이용하여

(10), (11), (12)식으로부터 감쇠정수  $h_0$ 와 Q값은

$$\begin{aligned} h_0 &= 0.35 \\ Q &= 1.43 \end{aligned} \quad (35)$$

이다. (9)식에 의한 motional impedance는 155.0 ohm이나 실험에 의한 값은 139.0 ohm으로 16.0 ohm의 오차가 발생하였다. 수진기의 관성질량은 (9)식을 이용하여 계산할 수 있으나 감도 G의 값이 필요하므로 step force 법에 의해 G의 값을 결정된 후에야 가능하다.

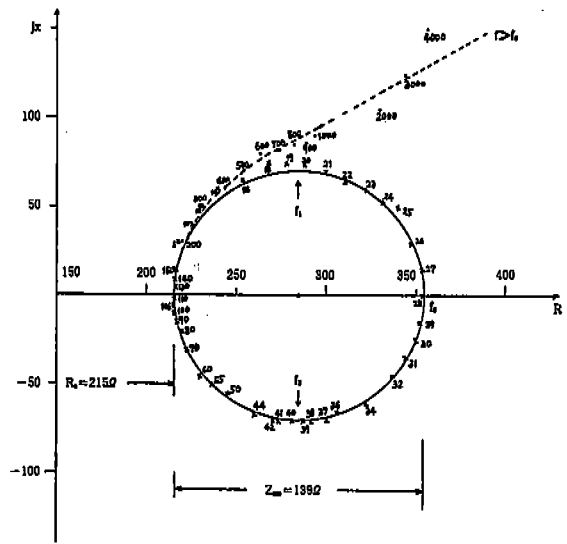


Fig.5 Free impedance curve in case of damping factor 0.35.

### Step force법에 의한 측정

상하로 진동하는 수진기의 경우 Dix의 step force 방법을 이용하면 편리하게  $\alpha$ 를 부가할 수 있다. 앞에서 설명한 실험대 설치 및 방법으로 실시하였다. 본 실험에서

는 스프링 대신 고무밴드를 사용하였으며 수진기 고정대 및 추는 직접 제작하였다. 진동대의 질량(M)과 추의 질량(m)은 전자저울을 이용하여 측정하였다. 진동대로부터 출력된 신호는 Digital Memory를 통하여 X-Y Pen Recorder에 Fig. 6a와 같이 기록된다. 이 기록으로부터 각종 수진기의 고유정수인 감쇠정수, 고유주파수, 감도 등 3정수를 결정할 것이다.

(1)  $h_0$ ,  $n$ ,  $e_m$ ,  $\alpha$  등의 측정

감쇠정수  $h_0$ 의 측정은 Fig. 6a와 같이 incidental response로부터 peak-peak의 상대진폭  $w_1, w_2, w_3, \dots$  등의 값을 읽어 X-Y Pen Recorder의 Y축 range를 곱하면  $w_1=2.2, w_2=0.7, w_3=0.20$ 의 상대적인 값을 얻을 수 있다. 이때 주의할 것은  $w_3$ 의 경우 시스템 자체의 진동 등 다소의 잡음이 함유된 것이므로 실제 계산시 무시하는 것이 좋다. 이 값을 편대수 그래프 용지에 도시하면 Fig.6b가 되며 여기에서 1 cycle log에 해당하는 값을 역수로 취하면 (21)식의 환산식이 되며 이를 (22)식에

대입하면 감쇠정수  $h_0$ 를 결정할 수 있다.

$$\text{즉 } \lambda=1/N=1/(3.7-1.7)=0.5, \\ h_0=0.733\lambda=0.367\text{이다.}$$

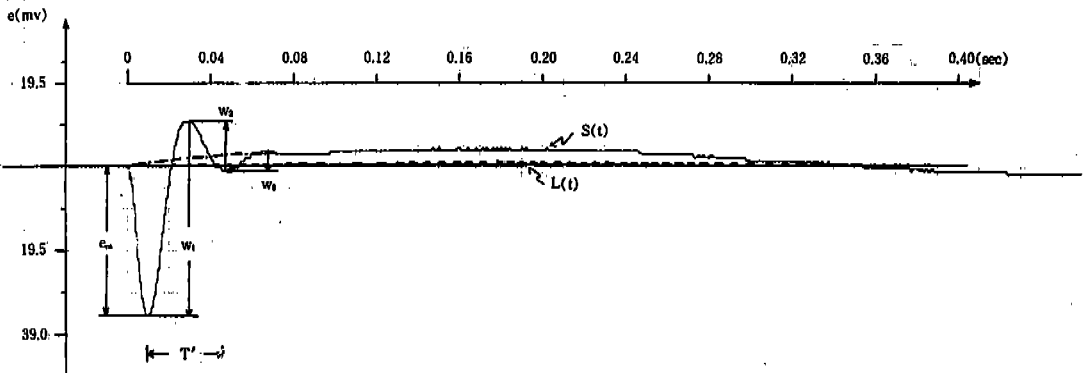
다음으로 수진기의 고유진동수, 즉 주기  $T_0$ 를 측정해야 한다. 이때도 마찬가지로 걸보기 주기를  $T'$ 이라고 하면 다음의 환산식에 의해 구할 수 있다.

$$T' = \frac{\{\text{CLOCK RATE(sec/word)}\}}{\text{출력속도(sec/word)}} \\ \times \frac{[\text{기록지상의 1주기의 길이(cm)}]}{[\text{Recorder의 Time Range(cm/sec)}]} \\ = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} \times \frac{1.85}{0.5} = 0.037\text{sec}$$

단 본실험에 사용된 Digital Memory의 경우 출력속도가 100msec/word이다. (23)식을 이용하여  $T'$ 은  $T_0$ 가 되므로 수진기의 공진주파수, 각주파수를 (24)식으로부터 구할 수 있다.

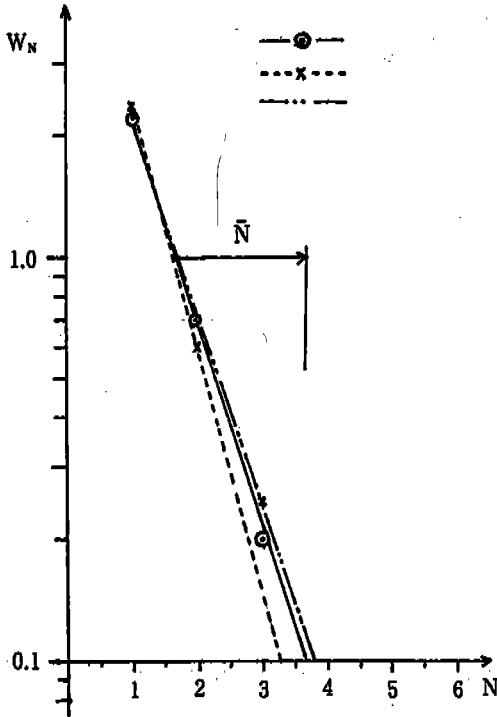
$$f_0=1/T_0=1/0.037=27.03\text{Hz} \\ n=2\pi f_0=169.8\text{Hz}$$

최초의 peak전압  $e_m$ 도 다음의 식으로 환산해야 한다.



(a) Incidental response. Noises,  $L(t)$  is generated by the distortion from base lines and  $S(t)$  by the natural movement of measurement system.





(b) Calculation of damping factor.

Fig.6 Record of step force.

$$e_m = \frac{\pm \text{Volts Fullscale(V)}}{D/A \text{ 변환기의 출력 Fullscale(V)}} \times \text{측정기의 입력감도(V/div)} \times \text{출력기록 파형의 진폭(div)}$$

$$= \frac{\pm 0.1V}{\pm 5.12V} \times 0.5V/cm \times 3.55cm$$

$$= 0.0347V = 34.7mV$$

마지막으로 진동대에 가하는 힘 F로부터  $\alpha$ 의 값은 (25)식을 이용하면 구할 수 있다. 전자저울에 의해 측정된 질량 M, m은 각각 445.8g, 47.2g이다. 이로부터  $(m/M)g = 1.038$ 이다. 물론 여기서 g는 중력가속도이다.

(2) 감도 G값의 결정

앞에서 측정한  $h_0, n, e_m, \alpha$  등으로부터 감

도 G는 (20)식으로부터 구할 수 있다. 즉  $e_m = 34.7mV, \alpha = 1.038m/sec^2, P(0.367) = 1.606$  으로부터

$$G = \frac{34.7mV \times 168.8Hz}{1.038m/sec^2} \times 1 \times 1.606$$

$$= 9,116.2mV/sec = 9.1V/m/sec$$

주파수 특성분석

이미 설명한 실험에 의해 측정된 수진기의 내부저항  $R_0$ , 공진주파수  $f_0$ , 감도 G, 감쇠정수  $h_0$  등을 구하였다. 수진기를 탄성파 탐사기에 접속시키는 경우 어떤 주파수 특성을 보이게 된다. 狐崎(1970)에 의해 표현된 주파수에 따른 지반진동에 의한 변위와 출력전압의 비 E/U로부터 수진기의 주파수 특성을 구할 수 있다.

$$\frac{E}{U} = -\frac{GR}{R+R_0} \frac{1}{1 - \left(\frac{n}{\omega}\right)^2 - j2h\left(\frac{n}{\omega}\right)}$$

$$= -\frac{GR}{R+R_0} \frac{1}{1 - \left(\frac{f_0}{f}\right)^2 - j2h\left(\frac{f_0}{f}\right)} \quad (36)$$

$$[\psi_i] = \frac{1}{1 - \left(\frac{n}{\omega}\right)^2 - j2h\left(\frac{n}{\omega}\right)}$$

$$= \frac{1}{(r+jx)} \quad (37)$$

단,  $r = 1 - (n/\omega^2), x = -2h(n/\omega)$ 이다.

(36)식을 다시 쓰면

$$\frac{E}{U} = -\frac{GR}{R+R_0} [\psi_i] \quad (38)$$

$$|[\psi_i]| = \frac{1}{\sqrt{r^2+x^2}}$$

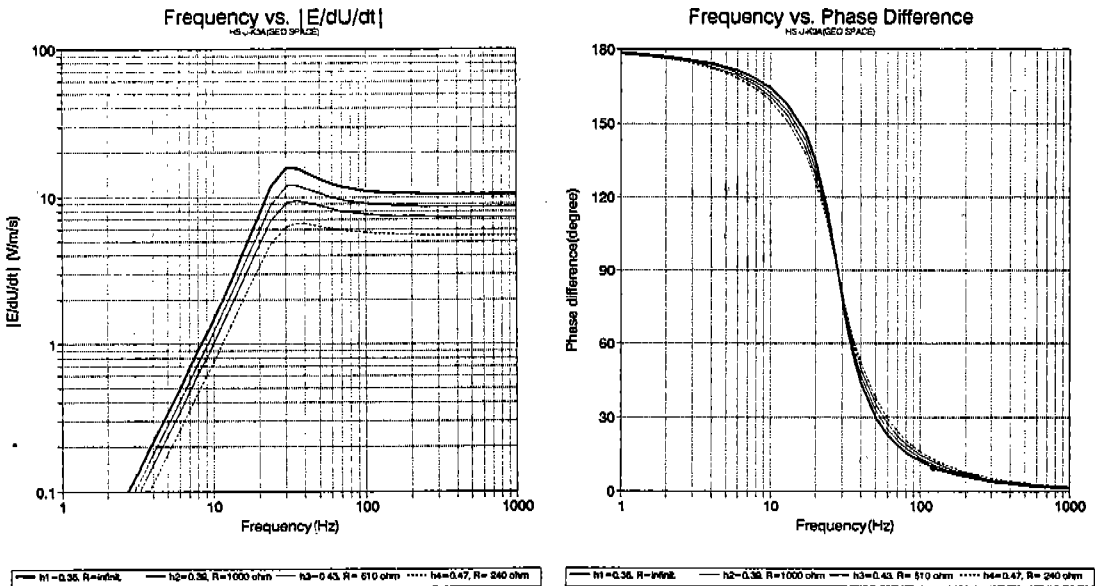
$$= \frac{1}{\sqrt{\{1 - (n/\omega^2)\}^2 + 4h^2(n/\omega)^2}} \quad (39)$$

이때 위상차를  $\beta$ 라고 하면

$$\begin{aligned} \beta &= \arg[\Psi_1] \\ &= \tan^{-1}(x/r) + 2k\pi \quad (40) \\ &= \tan^{-1}\left\{\frac{-2h(n/\omega)}{1-(n/\omega)^2}\right\} + 2k\pi \end{aligned}$$

따라서 
$$\frac{E}{U} = -\frac{GR}{R+R_0} |[\Psi_1]| \varepsilon^{j\beta} \quad (41)$$

(39)식과 (40)식을 이용하여 주파수에 따라 표시하는 것이 각각 진폭특성 및 위상특성이 된다. 이때 부가저항 R에 따라 감쇠정수를 달리하면서 도시한 것이 Fig. 7이다.



(a) Amplitude characteristics.

(b) Phase characteristics according to frequency.

Fig.7 Frequency Characteristic analysis.

### 결과 및 고찰

탄성파탐사에서 데이터를 정량적으로 해석하기 위해서는 수진기의 특성파악이 필요하다. function generator를 이용하는 free impedance 측정과 기지의 入力振動을 추가하는 step force법을 실험하였다.

이들에 의해 固有周波數, 減衰定數 그리고 感度 등을 측정하였으며 이를 이용하여 傳達率의 주파수 특성을 구하였다. 본 실험에 사용된 수진기는 일본의 應用地質(株)에 의해 試錐孔用 受振器(Model 3040)에 사용된 것이다.

free impedance 측정에 의해 공진주파수는  $f_0=28\text{Hz}$ , 감쇠정수는  $h_0=0.35$ , 공진

절단은  $Q=1.43$ , 그리고 motional impedance는  $Z_{m_0}=139 \text{ ohm}$ 이다. 이중  $Z_{m_0}$ 만 이론식 (9)식에 의해 구한 값은  $155 \text{ ohm}$ 으로 약  $16 \text{ ohm}$ 의 오차를 보이는 데 이는 계산시의 coil inductance 무시 및 측정 시스템의 정확도 문제로 생각할 수 있다. 이 측정법은 매우 간단하면서 계산이 용이하고, 또한 비교적 정확도가 높으므로 수진기의 고유정수중 공진 주파수와 감쇠정수를 결정하는 것이 좋다.

Step force에 의해서는 공진주파수, 감쇠정수, 감도 등 수진기의 고유 3정수 모두를 결정할 수 있다. 본 실험에 의한 이들의 값은  $h_0=0.367$ ,  $f_0=27.03\text{Hz}$ ,  $G=9.1\text{V/m/s}$ 이다. 전자의 방법과 비교하여 볼 때 각각 어느 정도 오차가 발생하였다. 오차의 원인은 2가지 정도로 생각할 수 있다. (1)X-Y pen recorder로부터 읽을 때 측정자의 오차이고, (2)시스템 자체의 長週期の 雜音으로 Fig. 8과 같이 incidental response의 기준선 歪曲(L(t))과 진동 시스템의 固有振動(S(t))의 원인 등으로 생각할 수 있다. 이들의 오차발생 원인의 제거가 앞으로의 과제이다. 이 오차를 다음과 같이 측정할 때 최소화할 수 있다. 원인 (1)에 대해서는 절보기 주기(T') 및 진폭(wN)측정을 디지털화 할 때 감소시킬 수 있다. 원인 (2)에 대해서는 노이즈에 해당하는 L(t)와 S(t)의 주파수를 파악하여 필터링하는 것이다.

따라서 수진기의 특성을 나타내는 고유 3정수는 free impedance에 의해서 固有周波數와 減衰定數, step force 방법에 의

해서 感度 등을 결정하는 것이 가장 바람직한 것으로 생각된다. 이들의 3정수를 이용하여 주파수에 따른 振幅 및 位相의 특성을 파악할 수 있다. 振幅特性에서는 周波數  $100\text{Hz}$ 이상에서 變位計로, 固有周波數 이내에서 加速度計로 작용하고 있다. 位相特性은 고유주파수를 중심으로하여 정확하게 역전되고 있다.

## 결론

free impedance와 step force법에 의한 可動 코일形 受振器의 특성을 측정할 결과는 다음과 같다.

(1)수진기의 固有定數中 固有周波數( $f_0$ )와 減衰定數( $h_0$ ), 그리고 motional impedance( $Z_{m_0}$ )로부터의 관성질량(m) 등은 free impedance 방법에 의해 측정하는 것이 바람직하며, 한편 그들의 값은  $f_0=28\text{Hz}$ ,  $h_m=0.35$ , 그리고  $Z_{m_0}=139\text{ohm}$ 이다. 또한 感度(G)는 step force법에 의해서  $G=9.1 \text{ V/m/s}$ 로 측정되었다.

(2)측정 시스템의 長週期 運動에 의한 잡음은 각 구간별 진폭측정시 가감하여 보정하였다.

(3)周波數 特性에 대한 분석결과를 보면 位相特性은 고유주파수를 경계로하여 정확하게 位相逆轉이 발생하며, 振幅特性에서는 고유주파수 부근인 變移帶를 경계로하여 그 경계 이내의 주파수 영역에서는 加速度計로, 그 이상의 영역에서는 變位計로 작용함을 알 수 있다.

## 사 사

본 연구는 교육부 특성화 '93년도 연구비 지원연구(과제번호 : BSRI-93-507)의 일부로서 이에 대하여 교육부 당국에 감사하며, 한국과학재단의 중견과학자 일본연수(송)와 한.일 공동연구원 우호교류연수(유)의 지원으로 일본 아끼다 대학에 파견되어 연구수행이 가능하였기에 한국과학재단 당국에 감사드린다. 본 연구내용은 아끼다 대학 광산학부의 끼쥬네자키 교수의 도움으로 이루어졌다. 체류기간 동안 기존시설과 자료제공, 친절한 지도 및 심심한 배려에 깊이 감사한다.

## 참고문헌

狐崎長琅, 後藤典俊, 1964, Step force法による振動計の特性試験, 物理探鑛, 17(4), pp.165-175

—, 1969, 電磁式地震計の理論(その2), 物理探鑛, 22(6), pp.541-548

—, 1870, 電磁式地震計の理論(その3), 物理探鑛, 23(1), pp.37-44

---

유 영 준 :

대한광업진흥공사 기술사업부  
서울특별시 동작구 신대방동 686-48  
150-016  
TEL : (02)840-5741  
FAX : (02)833-0565

송 무 영 :

충남대학교 지질학과  
대전직할시 유성구 궁동 산 220번지  
305-764  
TEL : (042)821-6421  
FAX : (042)823-3722