

한가지 소형진동시험기의 저주파진동응답특성

강련경, 권철현

론문에서는 표준진동을 일으키는데 리용되는 한가지 소형진동시험기의 저주파진동특성에 대하여 연구하였다.

선행연구[1]에서는 진동시험기에서 가동권선의 질량과 역기전력이 진동특성에 주는 영향을 연구하였다.

선행연구[2]에서는 속도반결합을 가진 소형진동시험기를 제기하고 그것의 진동속도진폭특성이 전 주파수대역에서 일정하다는것을 밝혔다.

우리는 전압 혹은 전류반결합된 소형진동시험기의 력학적모형을 작성하고 전달함수를 결정하여 저주파응답특성을 고찰하였다.

1. 구조와 동작원리

진동시험기는 크게 부동부분과 가동부분으로 갈라볼수 있다. 부동부분은 영구자석(혹은 려자선륜)과 자석속심, 안내장치로 구성되며 균일하고 일정한 작업공극자기마당을 제공한다. 가동부분은 가동권선과 권선틀, 진동대면과 지지용수로 구성된다.

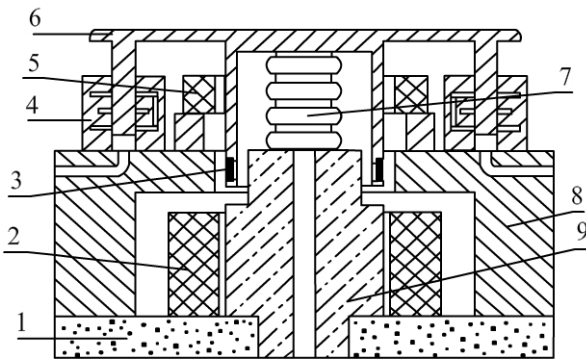


그림 1. 소형진동시험기의 구조

1-려자밀륜, 2-려자권선, 3-가동권선, 4-유압식속받이,

5-소거권선, 6-진동대면, 7-공기용수,

8-려자속륜, 9-려자속륜

한가지 소형진동시험기의 구조를 그림 1에 보여주었다. 이 시험기는 려자권선으로 자기마당을 만들며 공극자기마당세기를 려자전류를 통해 조절할수 있다. 공기용수를 리용하여 공진주파수를 수Hz까지 낮출수 있고 좋은 동적선형도를 가진다. 가동부분의 안내장치에 유압축받이를 리용하여 안내성능을 높이고 횡방향진동을 작게 한다.

2. 저주파진동특성

소형진동시험기가동부분의 가동권선, 가동권선틀, 진동대면들이 서로 역세계 결합되었다고 보면 그것의 1계공진주파수는 일반적으로 수천Hz이상이 되어 저주파진동을 연구할 때 가동부분을 하나의 강체로 볼수 있다. 따라서 그것을 한자유도진동계로 모형화한다.

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = Bli \quad (1)$$

여기서 M 은 가동부분의 총질량(교정되는 수감부와 가동부분의 질량), C 는 진동계의 감쇠결수, K 는 진동계의 역세기결수이다.

소형진동시험기의 출력증폭기가 이상적인 전압반결합출력증폭기라고 하면 그것의 특성은 가동권선의 역기전력의 영향을 받지 않는다. 출력증폭기의 출구저항은 대단히 낮아 출구는 전압진폭이 일정한 전원에 해당되며 그것의 전자기방정식은 다음과 같다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + Bl\dot{x} = E \quad (2)$$

여기서 L 은 가동권선의 전자기유도도, l 은 가동권선의 길이, R 은 가동권선의 유효저항, B 는 공극자기마당세기, i 는 가동권선의 구동전류, E 는 출력증폭기의 출구전압이다.

식 (1), (2)에 대하여 평초기조건 $i(0)=0$, $x(0)=0$, $E(0)=0$ 에서 라플라스변환하여 전압반결합출력증폭기인 경우 소형진동시험기의 전압-가속도전달함수를 얻는다.

$$\frac{s^2 X(s)}{E(s)} = \frac{s^2 \cdot \frac{Bl}{ML}}{s^3 + \frac{MR+CL}{ML}s^2 + \frac{RC+KL+(Bl)^2}{ML}s + \frac{RK}{ML}} = \frac{\frac{Bl}{ML} \cdot s^2}{s^3 + As^2 + Bs + D} \quad (3)$$

여기서

$$A = \omega_3 + 2\omega_1\xi, \quad B = 2\omega_1\omega_3\xi + \omega_1^2 + \omega_e^2, \quad D = \omega_1^2\omega_3, \quad \omega_e = \frac{K_g}{\sqrt{LM}}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K}{M}}, \quad \omega_3 = \frac{R}{L}, \quad \xi = \frac{C}{2\omega_1 M}, \quad K_g = Bl, \quad s = j\omega$$

이다.

또한 전압-가속도전달함수로부터 전압-변위전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{E(s)} = \frac{\frac{Bl}{ML}}{s^3 + \frac{MR+CL}{ML}s^2 + \frac{RC+KL+(Bl)^2}{ML}s + \frac{RK}{ML}} \quad (4)$$

만일 그림 2의 출력증폭기가 이상적인 전류반결합출력증폭기라고 하면 그것의 출구저항은 대단히 크게 되고 부하에 대하여 전류진폭이 일정한 전원에 해당된다. 그것의 전자기방정식은 다음과 같다.

$$i = \frac{E}{R_e} = \frac{k_a U}{R_e} \quad (5)$$

여기서 R_e 는 전류출력증폭기의 반결합저항, k_a 는 출력증폭기의 전압증폭배수, E 는 출력증폭기의 출구전압, U 는 신호발생기의 출구전압, i 는 가동권선에 흐르는 전류이다.

식 (1), (4)에 대하여 평초기조건 $i(0)=0$, $x(0)=0$, $E(0)=0$ 에서 라플라스변환하여 전류반결합출력증폭기인 경우 소형진동시험기의 전류가속도전달함수를 얻는다.

$$\frac{s^2 X(s)}{I(s)} = \frac{Bl \cdot s^2}{Ms^2 + Cs + K} = \frac{\frac{K_g \cdot s^2}{M}}{s^2 + \frac{C}{M}s + \frac{K}{M}} = \frac{\frac{K_g}{M} \cdot s^2}{s^2 + 2\xi\omega_1 s + \omega_1^2} \quad (6)$$

여기서

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K}{M}}, \quad \xi = \frac{C}{2\omega_1 M}, \quad K_g = Bl, \quad s = j\omega$$

이다.

또한 전류-가속도전달함수로부터 전류-변위전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{I(s)} = \frac{Bl}{Ms^2 + Cs + Ks} = \frac{\frac{K_g}{M}}{s^2 + \frac{C}{M}s + \frac{K}{M}} \quad (7)$$

그림 1의 구조로 설계한 소형진동시험기의 주파수진동응답특성을 고찰한다. 그것의 전자기파라미터와 진동파라미터는 다음과 같다.

공극의 자기마당세기 $B=0.45\text{T}$, 가동권선의 길이 $l=38\text{m}$, 가동권선의 유효저항 $R=2.33\Omega$, 가동권선의 유도도 $L=0.000\ 036\text{H}$, 가동부의 총질량 $M=9\text{kg}$, 감쇠계수 $C=3.42\text{N/m}\cdot\text{s}^{-1}$, $K=360\text{N/m}$ 이다. 이러한 파라미터에 대하여 전압반결합출력증폭기를 리용한 소형진동시험기의 전압-가속도주파수응답특성과 전압-변위주파수응답특성을 계산하여 그림 3에 보여주었다.

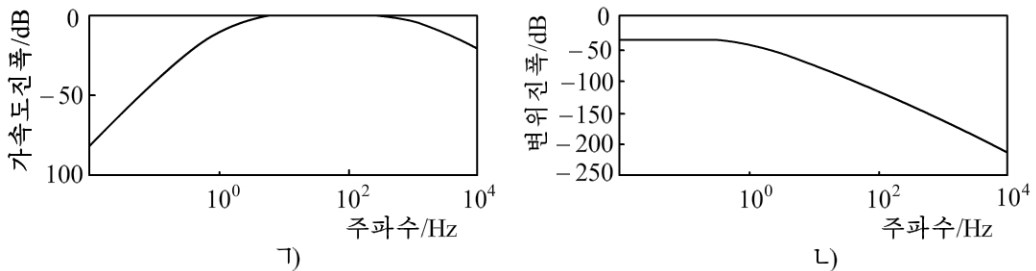


그림 2. 전압반결합출력증폭기를 리용한 소형진동시험기의 주파수특성곡선

1) 가속도주파수특성, 2) 변위주파수특성

그림 2로부터 전압진폭이 일정한 입력의 경우 가진주파수가 진동기의 공진주파수(약 1Hz)이하일 때 진동대면의 진동변위량이 기본적으로 상수로 되고 진동기는 변위특성을 나타내며 공진주파수이상일 때는 진동대면의 진동변위량이 40dB/dec로 감소하는 대신 가속도량이 기본적으로 일정해지며 가속도특성을 나타낸다는것을 알수 있다.

이로부터 이 소형진동시험기로 교정을 진행할 때 1Hz이하의 저주파대역에서는 변위를 측정하고 고주파대역에서는 가속도를 측정하는것이 적합하다는것을 알수 있고 이것은 진동대면의 진동반결합조종에서 반결합의 물리적량을 선택하는데 리용된다.

또한 전류반결합출력증폭기를 리용한 소형진동시험기의 전압-가속도주파수응답특성과 전압-변위주파수응답특성을 계산하여 그림 3에 보여주었다. 그림 3으로부터 전류진폭이 일정한 입력신호인 경우 가동부의 주파수응답곡선에 공진봉우리가 나타나며 이때 그 공진주파수는 $\omega_1=1\text{Hz}$ 라는것을 알수 있다.

공진주파수의 왼쪽 저주파수대역에서는 변위특성을 나타내고 오른쪽 고주파대역에서는 가속도특성을 나타낸다는것을 알수 있다. 고주파대역에서 변위량은 역시 40dB/dec로 감소된다. 이 소형진동시험기의 진동진동대는 공기용수를 리용하였기때문에 감쇠가 작아서 공진주파수근방에서 큰 진동이 일어날수 있다는것을 주의해야 한다.

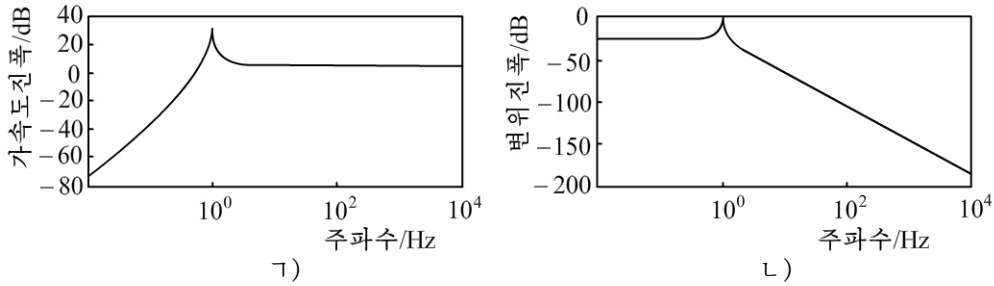


그림 3. 전류반결합출력증폭기를 리용한 소형진동시험기의 주파수특성 곡선

ㄱ) 가속도주파수특성, ㄴ) 변위주파수특성

계산결과로부터 다음과 같은것을 얻는다.

① 진동가속도수감부의 교정주파수대역의 아래한계는 진동시험기의 가동부를 강체로 보았을 때의 한자유도질량용수계의 고유주파수에 의하여 규정된다.

② 주어진 설계파라미터를 가진 진동시험기의 가속도주파수응답은 3~2 000Hz 범위 내에서 거의 일정하며 이 대역에서 가속도수감부의 가속도특성을 교정할수 있다.

맺 는 말

해석결과로부터 전압 혹은 전류반결합을 가진 출력증폭기를 리용하는 경우 적당한 전자기적, 구조적설계정수들을 가진 소형진동시험기는 저주파수특성교정수단으로 리용될 수 있다. 이때 교정주파수대역의 아래한계를 낮추려면 고유진동수를 작게 하여야 하며 이것은 역세기가 작고 선형성이 좋은 공기용수를 요구한다.

참 고 문 헌

- [1] D. Thorby; Structural Dynamics and Vibration in Practice, Elsevier, 367~385, 2008.
- [2] 黄浩华; 小型伺服式电动振动台, 世界地震工程, 18, 3, 69, 2002.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

On the Low-Frequency Vibration Response Characteristic of the Small Dynamoelectric Vibrator

Kang Ryon Gyong, Kwon Chol Hyon

We introduce the principle and specification of the small dynamoelectric vibrator.

The paper established the dynamic model of the small dynamoelectric vibrator and consider the low-frequency vibration characteristic. The result satisfies the requirements of low-frequency sensors calibration.

Key words: dynamoelectric vibrator, dynamic model