김일성종합대학학보 주체107(2018)년
물리학 제64권 제3호

상시미동측정에 의한 건물의 고유주기, 감쇠상수결정방법

박치봉, 김동광, 고광수

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《도시건설에서 지진방지대책을 철저히 세우는것이 중요합니다.》(《**김정일**선집》 증보판 제7권 136페지)

건물의 진동특성량결정에서 상시미동측정방법은 간단하고 경제적비용이 적다.[1, 2]

건물의 진동특성량들인 세가지 인자 즉 고유주기, 감쇠상수 및 진동주형은 건물의 동적특성량들에 의한 지진안전성평가에서 기본을 이룬다.

건물의 고유주기결정방법에는 주기빈도해석법 및 우연과정의 통계해석법이 있다.

여기서는 비교적 실용적인 주기빈도법과 우연과정의 통계해석법의 하나로서 두제곱스펙트르법에 대하여 고찰한다.

상시미동기록파형에 대한 푸리에진폭스펙트르해석으로부터 건물의 고유주기를 결정할수 있다.

정상우연과정에서 시간함수를 $y(t)$로 놓고 그것의 푸리에변환을 $Y(\omega)$라고 하면 다음의 관계식이 성립된다.

$$Y(i\omega) = \int_{-\eta}^{\eta} y(t) \cdot e^{-i\omega t} dt \tag{1}$$

$$Y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\eta}^{\eta} Y(i\omega) \cdot e^{i\omega t} \cdot d\omega \tag{2}$$

$$\int_{-\eta}^{\eta} Y(t) \cdot Y(t) dt = \int_{-\eta}^{\eta} Y(t) \cdot \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_{-\eta}^{\eta} Y(i\omega) e^{iet} d\omega \right\} dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\eta}^{\eta} Y(i\omega) \cdot Y(i\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\eta}^{\eta} \left| Y(i\omega) \right|^2 d\omega \tag{3}$$

$Y(t)$의 시간에 따르는 두제곱평균 $Y^2(t)$는 다음과 같다.

$$Y^2(t) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} y^2(t) dt = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{y} \frac{\left| Y(i\omega) \right|^2}{T} d\omega \tag{4}$$

한편 $\lim\limits_{T \to \infty} \left| Y(i\omega) \right|^2 / T = S_y(\omega)$이면

$$Y^2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{\eta} S_y(\omega) d\omega \tag{5}$$

이다. 바로 이 $S_y(\omega)$와 $Y^2(t)$는 두제곱스펙트르로서 푸리에변환 $Y(i\omega)$의 절대값을 두제곱한 함수이다.

일반적으로 어떤 진동계의 감쇠정도는 감쇠계수 C와 그것의 한계값 $C_{한계}$의 비 h로 표시하는데 이것을 감쇠상수라고 한다. 즉

$$h = \frac{C}{C_{한계}} \tag{6}$$

여기서 $C_{한계}$ 는 진동이 주기성을 가지는가 가지지 않는가 하는 한계를 나타내는 값이며 다음과 같이 표시된다.

$$C_{한계} = 2m\omega \tag{7}$$

건물의 감쇠상수는 진동주기나 진동주형과 같이 두제곱스펙트르로부터 결정한다.

두제곱스펙트르의 최대값으로부터 감쇠상수를 결정하는 방법은 다음과 같다.

$\omega = \omega_s$ 의 근방에서 주파수응답함수의 s차에 대한 절대값은 근사적으로 다음과 같다.

$$\left|A_s(i\omega)Y_s(x)\right| = \left|H(i\omega)\right| = \frac{\left|\beta_s Y_s(x)\right|}{\omega_s^2\sqrt{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_s^2}\right)^2 + 4h_s^2\frac{\omega^2}{\omega_s^2}}} \tag{8}$$

$$\left|A_s(i\omega_s)Y_s(x)\right| = \left|H(i\omega_s)\right| = \frac{\left|\beta_s Y_s(x)\right|}{2h_s\omega_s^2} \tag{9}$$

이제 $\left|H(i\omega_s)\right|$ 의 $1/\sqrt{2}$ 인 점의 진동수를 $\omega_1, \omega_2(\omega_2 > \omega_1)$ 로 하면 식 (8)로부터 다음의 관계가 성립된다.

$$\frac{\left|\beta_s Y_s(x)\right|}{\omega_s^2\sqrt{\left(1-\frac{\omega_1^2}{\omega_s^2}\right)^2 + 4h_s^2\frac{\omega_1^2}{\omega_s^2}}} = \frac{\left|\beta_s Y_s(x)\right|}{\omega_s^2\sqrt{\left(1-\frac{\omega_2^2}{\omega_s^2}\right)^2 + 4h_s^2\frac{\omega_2^2}{\omega_s^2}}} = \frac{\left|\beta_s Y_s(x)\right|}{2\sqrt{2h_s\omega_s^2}} \tag{10}$$

$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ 로 표시하면

$$\left.\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_s - \Delta\omega/2 \\ \omega_2 &= \omega_s + \Delta\omega/2 \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_s}\right)^2 = \left(1-\frac{\Delta\omega}{2\omega_s}\right)^2 \approx 1-\frac{\Delta\omega}{\omega_s} \tag{12}$$

이다. 식 (8)로부터

$$\left(1-\frac{\omega_1^2}{\omega_s^2}\right)^2 + 4h_s^2\left(\frac{\omega_1^2}{\omega_s^2}\right) = 8h_s^2 \tag{13}$$

$$\left(\frac{\Delta\omega}{\omega_s}\right)^2 - 4h_s^2\left(-\frac{\Delta\omega}{\omega_s}\right) - 4h_s^2 = 0 \tag{14}$$

이며 결국 $\frac{\Delta\omega}{\omega_s} = 2h_s^2 + 2h_s\sqrt{1+h_s^2} \approx 2h_s + 2h_s^2 + h_s^3 \approx 2h_s$ 이다.

따라서 감쇠상수 h_s 는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$h_s = \frac{\Delta\omega}{2\omega_s} \tag{15}$$

두제곱스펙트르의 최대값이 취해지지 않는 경우에 주파수간격 Δf 는 수자화간격 Δt 와 자료개수 N에 의해서 결정되며 $s_f(\omega)$가 평탄하다고 보면 다음의 식이 성립된다.

$$\frac{L(\omega_s)}{\left\{1-\left(\frac{\omega_j}{\omega_s}\right)^2\right\}^2+4h_s^2\left(\frac{\omega_j}{\omega_s}\right)^2}=L_j \tag{16}$$

여기서 $L(\omega_s)$는 고유각진동수 ω_s에서 스펙트르값이다.

식 (16)에 스펙트르계산으로부터 개개의 각진동수 ω_j에 대하여 얻어진 L_j의 값을 대입하면 $L(\omega_s)$와 h_s를 미지수로 하는 식들이 얻어진다. 이러한 관계식으로부터 최소두제곱법을 리용하여 감쇠상수 h_s를 구한다.

우의 방법에 따라 ㄷ지역의 12개 호동건물의 고유주기와 감쇠상수값들을 결정하였다. ㄷ지역의 측정건물들에 대하여 얻은 동적특성값들은 표와 같다.

표. 건물의 동적특성값

번호	층수	고유주기/s		감쇠상수
		지반	건물	
1	8	0.31	0.33	0.02
2	8	0.25	0.32～0.37	0.02
3	14	0.25	0.62～0.66	0.04
4	6	0.25	0.35	0.02
5	25	0.17～0.20	0.70～0.90	0.07
6	6	0.30	0.31	0.03
7	15	0.28	0.52～0.60	0.04
8	14	0.25	0.55～0.60	0.05
9	14	0.23	0.50～0.76	0.04
10	8	0.31	0.31～0.38	0.03
11	2	0.28	0.30～0.33	0.02
12	18	0.25	0.62～0.77	0.04

맺 는 말

상시미동측정에 의한 건물의 고유주기와 감쇠상수에 대한 결정방법을 확립하고 ㄷ지역 12개 호동건물의 고유주기와 감쇠상수를 결정하였다.

론문에서 해결한 내용들은 새로 건설하는 건물의 내진설계와 이미 건설된 건물의 지진안전성평가를 보다 과학적으로 진행하는데서 중요한 기초자료로 리용할수 있다.

참 고 문 헌

[1] 윤성원 등; 지진공학, **김일성**종합대학출판사, 196～212, 주체99(2010).

[2] K. Innanen; An Experiment to Detect Nonlinear Seismic Response on Exploration Geoscience Engineering Partnership, Alberta, 12～35, 2014.

주체107(2018)년 3월 5일 원고접수

Determination Method of the Natural Period and Attenuation Constant of Buildings by Measuring Microtremor

Pak Chi Bong, *Kim Tong Gwang* and *Ko Kwang Su*

We established determination method of natural period and attenuation constant of buildings by measuring microtremor. By using this method we determined the natural period and attenuation constant of 12 buildings in "ㄷ" area.

Key word: natural period