

複合構造系の耐震設計(下)

Seismic Design of Structural-Nonstructural System

金 錫 求*

Kim, Seok Koo

- I. 서 론
- II. 지진동의 특성
 - 2-1 지반가속도
 - 2-2 지반응답스펙트라
 - 2-3 강진기관
- III. 구조체의 동적거동
 - 3-1 지반상태와 구조체거동
 - 3-2 지반구조체 상호작용
 - 3-3 해석예와 결과분석

- IV. 비구조체의 지진응답거동
 - 4-1 복합구조체의 동적특성
 - 4-2 해석예의 결과분석
 - 4-2-1
 - 4-2-2
 - 4-2-3

V. 결 론

4-1 複合構造系の 動的特性

개개의 非構造體 特性으로 複合構造體의 모달 特性을 나타내는데 있어 동조현상과 상호작용현상, 비전형감쇠현상을 數式化하여 보자. 가장 간단한 단자유도 구조체에 단자유도 비구조체가 놓인 복합구조체를 연구하여 動的特性을 확인하고 그들 특성을 나타내기 위한 수학적 表現을 도출하여 일반적인 構造-非構造系의 解析을 위한 골격을 제공코자 한다.

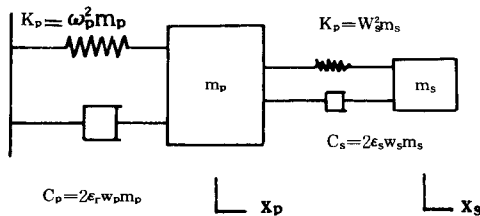


그림 4-1. 2- 자유도系

1층 건물에 1개의 기기가 부착되어 있는 것을 수학적 모델화하면 다음과 같다. 구조체와 비구조체의 질량, 고유진동수, 감쇠율, 상대변위를 각각 $m_p, \omega_p, \zeta_p, \chi_p$ 와 $m_s, \omega_s, \zeta_s, \chi_s$ 라 하면 그림 4-1은 변위벡터 $x = [x_p \ x_s]^T$ 를 갖는 2 자유도계로서 해석된다. 이 때 이들 변위벡터에 대응하는 질량, 감쇠 및 강성행렬은

$$M = \begin{bmatrix} m_p & 0 \\ 0 & m_s \end{bmatrix} \quad C = 2 \begin{bmatrix} \zeta_p \omega_p m_p + \zeta_s \omega_s m_s & \\ & -\zeta_s \omega_s m_s \quad \zeta_s \omega_s m_s \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} \omega_p^2 m_p + \omega_s^2 m_s & -\omega_s^2 m_s \\ -\omega_s^2 m_s & \omega_s^2 m_s \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

복합구조계에서의 3가지 주요 동적특성 즉, 同調現象과 相互作用現象, 非典型感衰現象을 수식화하기 위해 媒介變數를 도입하면 :

$$\beta = \frac{\omega_p - \omega_s}{S_a} = \text{同調媒介變數} \quad (4.2a)$$

$$\gamma = \frac{m_s}{m_p} = \text{相互作用媒介變數} \quad (4.2b)$$

*건축구조기술사 3D 구조연구소 소장

$$\delta = (\zeta_p - \frac{\omega_p}{s_a} \zeta_0) \frac{\omega_p}{s_s} = \text{非典型減衰 媒介變數} \quad (4.2c)$$

$$\text{여기서 } \omega_a = \frac{\omega_p + \omega_s}{2} = \text{平均 固有振動數} \quad (4.2d)$$

$$\zeta = \frac{\zeta_p + \zeta_s}{2} = \text{平均減衰率} \quad (4.3a)$$

$$\zeta_d = \zeta_p - \zeta_s = \text{減衰率 差} \quad (4.3b)$$

그럼 4-1에서 매개변수 ζ_a 와 γ 가 작으면 構造系-非構造系로 정의할 수 있고 $\sqrt{\gamma}$ 와 ζ_a 는 크기의 次數가 같다고 가정한다. 즉

$$o(\zeta_a) = o(\sqrt{\gamma}) \quad (4.4)$$

만일 $|\beta|$ 값이 $\sqrt{\gamma}$ 와 ζ_a 의 크기와 같은 次數라면 즉

$$o(\beta) = o(\sqrt{\gamma}) = o(\zeta_a) \quad (4.5)$$

이면 그 복합구조계는 同調한다. 그 이외의 경우엔 同調하지 않는다.

2자유도 복합구조계는 2개의 모우드가 있는데 하나는 구조체와 관련되어 있고 또 하나는 비구조체와 관련되어 있다. 복합계의 모우드현상 Φ_i^* , 고유주기 ω_i^* , 감쇠율 ζ_i^* 은

$$\Gamma(s_i^*)\Phi_i^* \equiv (s_i^*M + s_i^*C + K)\Phi_i^* = 0 \quad (4.6)$$

로 구한다. 여기서 s =라플라스변환 매개변수이고

$$\Gamma(s) = \begin{Bmatrix} G(s) & f(s) \\ f(s) & g(s) \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (4.7a)$$

$$G(s) = m_p[s^2 + 2(\zeta_p s_p + \gamma \zeta_s \omega_s)s + (\omega_p^2 + \gamma s_s^2)] \quad (4.7b)$$

$$g(s) = m_s[s^2 + 2\zeta_s \omega_s s + \omega_s^2] \quad (4.7c)$$

$$f(s) = -m_s[2\zeta_s \omega_s s + \omega_s^2] \quad (4.7d)$$

고유치 s_i^* 는 고유주기 ω_i^* 과 감쇠율 ζ_i^* 와 상관관계가 있다.

$$s_i^* = i\omega_i^* \sqrt{1 - \zeta_i^{*2}} - \omega_i^* \zeta_i^* \quad (4.8)$$

여기서 $i = \sqrt{-1}$

유사하게 개개 구조체-비구조체의 根도 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$s_p = i\omega_p \sqrt{1 - \zeta_p^2} - \omega_p \zeta_p \quad (4.9a)$$

$$s_s = i\omega_s \sqrt{1 - \zeta_s^2} - \omega_s \zeta_s \quad (4.9b)$$

식 (4.6)로부터 s_i^* 의 解는 모두 4개이지만 2개의 正(+)의 虛數부분만 필요하다. 나머지 解

2개는 공액의 짝이 된다. 모우드현상 Φ_i^* 는 복합계의 非典型 減衰現象을 나타내는 일반적 복합값이다.

根 s_i^* 는 아래 방정식을 풀어서 구한다.

$$d(s_i^*) \equiv G(s_i^*)g(s_i^*) - f^2(s_i^*) = 0 \quad (4.10)$$

여기서 $d(s)$ 는 特性多項式이다.

우선 同調하지 않는 즉 $|\beta|$ 가 큰 경우를 생각해 보자.

윗식의 2번째 항이 첫번째 항보다 次數가 적어서 방정식은 아래와 같이 줄어든다.

$$G(s_i^*)g(s_i^*) = 0 \quad (4.11)$$

이것은

$$G(s_i^*) = 0 \text{ 또는 } g(s_i^*) = 0 \quad (4.12)$$

과 동등하고 식 (4.8)의 解는

$$S_1^* = S_p \text{ 과 } S_2^* = s_s \quad (4.13)$$

이처럼 同調하지 않는 경우엔 복합계의 고유진동수와 감쇠율은 구조체 비구조체의 개개의 값들과 달라지지 않는다. 결국 相互作用의 영향은 무시할 정도임을 나타낸다.

$|\beta|$ 가 작은 즉 同調의 경우엔 식 (4.9)의 두번째 항을 무시할 수 없어 固有值 방정식은 4차식이 된다.

2-자유도계의 根은 2개의 진동자의 根으로부터 攪亂되어 있어 이 攪亂值를 측정하기 위해 無次元 變數 μ 를 도입한다.

$$\mu = \frac{i}{\omega_a} (s - s_a) \quad (4.14a)$$

여기서 s_a 는 평균값으로

$$s_a = \frac{s_p + s_s}{2} \quad (4.14b)$$

대칭을 유지하기 위해 평균값 s_a 와 ω_a 를 사용한다.

식 (4.7b~d)을 변수 μ 로 재구성하고 가장 낮은 次數의 項만 유지시키면 새로운 수식으로 표현할 수 있다.

$$G(s) = -\omega_p^2 m_p (-\beta - i\zeta_d + 2\mu) \quad (4.15a)$$

$$g(s) = -\omega_s^2 m_s (\beta + i\zeta_d + 2\mu) \quad (4.15b)$$

$$f(s) = -\omega_s^2 m_s \quad (4.15c)$$

위 식들을 特性 方程式에 대입하면 식 (4.10)는 아래와 같이 된다.

$$\begin{aligned}
d(s_i^*) &= \omega_a^2 m_p m_s [(-\beta - i\zeta_d + 2\mu)(\beta + i\zeta_d + 2\mu) \\
&\quad - \gamma] \\
&= \omega_a^2 m_p m_s [4\mu^2 - (\beta + i\zeta_d)^2 - \gamma] = 0
\end{aligned} \tag{4.16}$$

원래의 多項式 $d(s)$ 는 변수 μ 의 단순한 다항식으로 단축된다.

변수 μ 의 解를 μ_i^* 로 표시하면 가장 낮은 次數의 결과는

$$\mu_i^* = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\gamma + (i\zeta_d + \beta)^2} \tag{4.17}$$

여기에서 위 부호는 $i=1$ 일때이고 아래 부호는 $i=2$ 일때이다.

부호약정은 본 節에서는 같이 쓰인다.

식 (4.14a)로부터 s_i^* 의 1次解는

$$s_i^* = \omega_a [i - \zeta_a \pm \frac{1}{2} \operatorname{sgn}(\beta) \sqrt{\gamma + (i\zeta_d + \beta)^2}] \tag{4.18}$$

여기에서 $\operatorname{sgn}(\beta)$ 는 β 의 대수적 부호이다.

모우드 1은 β 의 모든 값에 연관됨을 알 수 있다. 고유주기와 감쇠율에 대한 수식은 식 (4.8)로부터

$$\omega_i^* = \omega_a [1 \pm \frac{1}{2} \operatorname{sgn}(\beta) \operatorname{Re} \sqrt{\gamma + (i\zeta_d + \beta)^2}] \tag{4.19}$$

$$\zeta_i^* = \frac{\omega_a}{\omega_i^*} [\zeta_a \pm \frac{1}{2} \operatorname{sgn}(\beta) \operatorname{Im} \sqrt{\gamma + (i\zeta_d + \beta)^2}] \tag{4.20}$$

앞서의 식은 1次까지 정확하고 또한 간편하다.

식 (4.19)를 수치적으로 계산한 s_i^* 의 정확한 값은 복합계 매개변수의 여러 값에 대한 식 (4.18) 표현과 대비된다.

식 (4.8)로부터 實數軸은 $-\omega_i^* \cdot i$ 의 곱을 나타내고 虛數軸은 감쇠주기 $\omega_i^* \sqrt{1 - \zeta_i^*}$ 을 나타낸다. 두 진동자의 고유주기와 감쇠율은 서로 다르도록 선택하여 보고 질량비 γ 도 여러가지로 변화시켜 가면서 검토한다.

앞에서 복합계의 根에 대한 수식이 유도되었다. 하나는 작은 $|\beta|$ 에 대해 同調하는 것이고 다른 하나는 큰 $|\beta|$ 에 대해 同調하지 않는 것이다. 그 어느 식도 모든 β 값에 유효하지 못하

다.

실무상으로는 모든 β 값에 유효한 수식이 바람직하다. 그러한 수식은 매개변수의 극한값에 대하여 얻어진 2개의 수식을 조정하므로써 얻을 수 있으며 이들은 주어진 범위내의 매개변수에 대하여 잘 일치한다. 현재의 경우, 同調하지 않는 경우, 즉 $|\beta|$ 가 클 때와 同調하는 경우, 즉 $|\beta|$ 가 작을 때의 수식을 구한다. 이러한 개념을 이용하여 $|\beta|$ 가 크다고 가정하고 根이 同調하는 수식을 同調하지 않는 수식에 일치하도록 조정한다. $|\beta|$ 가 클 때엔 질량비 γ 는 $|\beta|$ 에 관하여 적고, 同調하는 수식 (4.17)은 아래와 같이 간략하게 된다.

$$\begin{aligned}
s_i^* &= \omega_a [i - \zeta_a \pm \frac{1}{2} (i\zeta_d + \beta)] \\
&= \begin{cases} i\omega_p - \omega_a \zeta_p & i=1 \\ i\omega_s - \zeta_a \zeta_s & i=2 \end{cases}
\end{aligned} \tag{4.21}$$

앞서의 것은 식 (4.13)에서 동조하지 않는 수식과 거의 일치하고 조정이 필요한 것은

$$\zeta_p \text{를 } \zeta_p \frac{\omega_p}{\omega_a} \text{로 치환} \tag{4.22a}$$

$$\zeta_s \text{를 } \zeta_s \frac{\omega_s}{\omega_a} \text{로 치환} \tag{4.22b}$$

하기만 하면 된다. 동조의 경우 진동수비 ω_p / ω_a 와 ω_s / ω_a 는 거의 같고 동조의식은 변화하지 않고 그대로 남는다는 것에 주의할 필요가 있다. 同調의 수식에 앞서의 조정하는 방법을 쓰면, 고유주기와 감쇠율에 대한 최종 일반식은 아래와 같이 된다. 하지 않고 그대로 남는다는 것에 주의할 필요가 있다. 同調의 수식에 앞서의 조정하는 방법을 쓰면, 고유주기와 감쇠율에 대한 최종 일반식은 아래와 같이 된다.

$$\omega_i^* = \omega_a \{1 \pm \frac{1}{2} \operatorname{sgn}(\beta) \operatorname{Re} \sqrt{\gamma + [i(\frac{\omega_p}{\omega_a} \zeta_p - \frac{\omega_s}{\omega_a} \zeta_s) + \beta]^2}\} \tag{4.23}$$

$$\zeta_i^* = \frac{\omega_a}{2\omega_i^*} \{ \frac{\omega_p}{\omega_a} \zeta_p + \frac{\omega_s}{\omega_a} \zeta_s \pm \operatorname{sgn}(\beta) \operatorname{Im} \sqrt{\gamma + [i(\frac{\omega_p}{\omega_a} \zeta_p - \frac{\omega_s}{\omega_a} \zeta_s) + \beta]^2}\} \tag{4.24}$$

同調할 때와 안 할때의 根의 해는 복합계 2자유도의 모우드현상 Φ_i^* 을 구하는데 쓰인다.

기호 $\Phi_1^* = [a_1]^T$ 를 이용하여 a_1 에 대한 해를 식 (4.6)로부터 계산한다.

$$a_1 = -\frac{g(s_1^*)}{f(s_1^*)} = \frac{s_1^{*2} + 2\zeta_s \omega_s s_1^* + \omega_s^2}{\omega_s^2} \quad (4.25)$$

식 (4.9)과 (4.13)에서 s_1^* 에 대한非同調식을 대입하면 a_1 의 해는

$$a_1 = \frac{\omega_s^2 + \omega_p^2}{\omega_s^2} \quad (4.26a)$$

$$a_2 = \frac{-\gamma \omega_s^2}{\omega_s^2 - \omega_p^2} \quad (4.26b)$$

이상의 식은 실수부로서非同調系는 기본적으로 典型的減衰를 한다.

모우드 1 에 대해서 구조체의 거동은 직렬제에 서처럼 증폭된 거동을 한다.

모우드 2 에서는 비구조체의 거동이 구조체에 적은 거동을 유발한다.

이러한 특성은非同調系에서는 상호작용이 무시할 수 있음을 보여준다. 同調系에서는 s_1^* 에 대한 식 (4.18)이 식 (4.25)으로 대치된다.

$$a_1 = -\beta - i\zeta_d - \text{sgn}(\beta) \sqrt{\gamma + (i\zeta_d + \beta)^2} \quad (4.27)$$

이 경우 허수부는 약간의 감쇠율 ζ_d 의 차이에도 심대하다. 이처럼 同調系는 $\zeta_d \neq 0$ 이면 현저하게 非典型減衰한다.

모든 β 값에 유효한 1 개의 a_1 표현 수식은 서로 맞추어서 얻어지는데 根 s_1^* 으로 구해진다. 최종 결과는

$$a_1 = \frac{\omega_a^2}{\omega_s^2} \beta - i \frac{\omega_p}{\omega_s} \delta - \text{sgn}(\beta) \sqrt{\gamma + \left(1 + \frac{\omega_p}{\omega_s} \delta + \frac{\omega_a^2}{\omega_s^2} \beta\right)^2} \quad (4.28a)$$

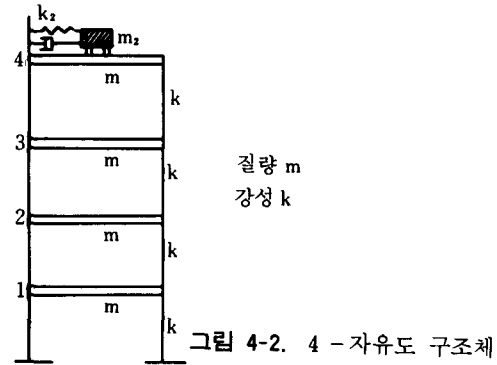
$$a_2 = -\frac{\omega_a^2}{\omega_s^2} \beta - i\delta + \text{sgn}(\beta) \sqrt{\gamma + \left(i\delta + \frac{\omega_a^2}{\omega_s^2} \beta\right)^2} \quad (4.28b)$$

여기서 δ 는 식 (4.2c)에 정의된 非典型減衰媒介變數이다.

만일 $\delta \neq 0$ 이면 모우드현상은 일반복합이다. 이것은 복합계가 일반 非典型減衰現象이 됨을 의미한다.

4-2 解析例와 結果分析

본 절에서는 구조체-비구조체의 여러경우별로 예제에 적용하여 해석한 결과를 분석한다.



구조체에 단자유도 비구조체가 올라가 있는 경우와 비구조체가 구조체의 여러군데에서 지지되어 있을 때, 구조체내에 비구조체들이 여러 개 놓여

표 4-1 非同調일때의 固有值

(1)	구조체와 비구조체 고유치 (2)	복합구조체 고유치		반복회수 (5)
		초기수정치 (3)	최종값 (4)	
(a) 질량비 1/2,000				
1	60.307379	60.289622	60.289629	2
2	500.00000	500.06818	500.06818	1
3	1,173.6482	1,173.6737	1,173.6736	1
4	1,766.0444	1,766.0511	1,766.0511	1
5	225.00000 ^a	2,250.2981	225.02980	1
(b) 질량비 1/200				
1	60.307379	60.129809	60.130451	2
2	500.00000	500.68182	500.68199	2
3	1,173.6482	1,173.9038	1,173.9040	2
4	1,766.0444	1,766.1115	1,766.1115	1
5	225.00000 ^a	225.29814	225.29699	1
(c) 질량비 1/20				
1	60.307379	58.531681	58.593463	3
2	500.00000	506.81818	506.83347	2
3	1,173.6482	1,176.2040	1,176.2311	2
4	1,766.0444	1,766.7147	1,766.7219	2
5	225.00000 ^a	227.98137	227.87004	2
(d) 질량비 1/2				
1	60.307379	42.550394	47.102428	4
2	500.00000	568.18182	568.45776	2
3	1,173.6482	1,199.2068	1,202.0528	3
4	1,766.0444	1,772.7473	1,773.5339	3
5	225.00000 ^a	254.81367	246.35308	3

a: 비구조체 고유진동수 관련 고유치
 주: 비구조체 고유진동수-15 ml/sec

있을 때를 조사한다.

4-2-1 複合構造系の 動的特性

4자유도 구조체에 단자유도 비구조체가 올라가 있는 복합구조체(그림 4-2)에서 구조체의 질량 $m=146,000\text{ kg}$ 이고 강성 $K=8.76 \times 10^6\text{ N/m}$ 이다. 비구조체의 강성 K_s 와 질량 m_s 를 변화시켜 가면서 해석한 결과는 표 4-1과 표 4-2와 같다.

비구조체의 고유진동수가 구조체의 고유진동수들과 同調하지 않는 경우에는 표 4-1에서 보여주는 바와같이 비구조체와 복합구조체의 고유치 오차는 구조체와 비구조체의 질량비가 $\frac{1}{200}$ 일

때에는 0.3%, $\frac{1}{20}$ 일 때엔 2.9%, $\frac{1}{2}$ 일 때엔 최대 2.8%밖에 안된다.

그러나 비구조체의 고유진동수가 구조체의 고유진동수들의 어느 것과 同調하는 경우에는 표 4-2에서 보여주는 바와 같이 구조체와 복합구조체의 고유치 오차는 질량비가 $\frac{1}{200}$ 일 때에 4.7%, $\frac{1}{20}$ 일 때엔 14%, $\frac{1}{2}$ 일 때엔 38.7%가 되고, 비구조체와 복합구조체의 고유치 오차는 질량비가 $\frac{1}{200}$ 일 때에 5%, $\frac{1}{20}$ 일 때엔 15.8%, $\frac{1}{2}$ 일 때엔 55.8%가 된다.

표 4-2 同調일때의 固有値

(1)	구조체와 비구조체 고유치 (2)	복합구조체 고유치		반복회수 (5)
		초기수정치 (3)	최종값 (4)	
(a) 질량비 1/2,000				
1	60.307379	60.299327	59.299324	1
2	500.00000	500.01138	500.01138	1
3	1,173.6482	1,173.6540	1,173.6540	1
4	1,766.0444	1,766.0461	1,766.0461	1
5	60.062500 ^a	61.081777	61.081780	1
(b) 질량비 1/200				
1	60.307379	57.446802	57.446671	2
2	500.00000	500.11327	500.11379	1
3	1,173.6482	1,173.7063	1,173.7063	1
4	1,766.0444	1,766.0606	1,766.0606	1

5	60.062500 ^a	63.035326	63.035424	2
(c) 질량비 1/20				
1	60.307379	51.917587	51.912008	2
2	500.00000	501.13771	501.13994	2
3	1,173.6482	1,174.2294	1,174.2308	2
4	1,766.0444	1,766.2061	1,766.2065	2
5	60.062500 ^a	69.574776	69.576347	2
(d) 질량비 1/2				
1	60.307379	37.881306	37.598999	2
2	500.00000	511.37709	511.59301	2
3	1,173.6482	1,179.4604	1,179.6072	3
4	1,766.0444	1,767.6607	1,767.7032	3
5	60.062500 ^a	93.713406	93.591366	2

a: 비구조체 고유진동수 관련 고유치
 주: 비구조체 고유진동수 7,751 rad/sec

4-2-2 多點支持 複合構造系の 動的特性

그림 4-3과 같은 7자유도 구조체-비구조체 계에서 구조체의 물리적 성질은 $k_p/m_p=400\text{ rad}^2/\text{sec}^2$, $m_p=10,000\text{ s/kg}$ 이고, 비구조체는 $k_s/m_s=1,180\text{ rad}^2/\text{sec}^2$, $m_s=10, 100, 500\text{ kg}$ 3가지이고 $EI/L^3 m_s=13.2\text{ rad}^2/\text{sec}^2$, $L=$ 점점 질량들 사이의 거리이다. 구조체는 3자유도 전단구조이고 비구조체는 4자유도 보로서 2층과 4층 2지점에서 지지되어 있다. 비구조체의 집중질량은 3가지로 적용하였으며 이때의 모우달 特性은 표 4-3과 같다.

구조체와 비구조체의 각각 첫번째 모우드들은 同調하나 각 2번째 모우드들은 非同調하고 구조

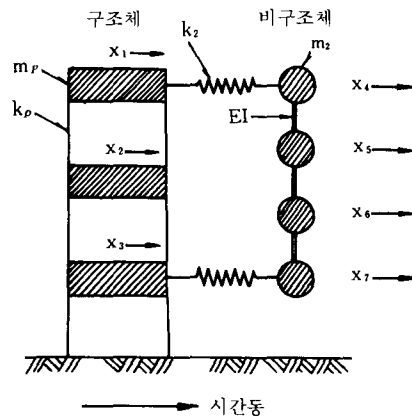


그림 4-3. 구조체-비구조체계

표 4-3 구조체와 비구조체의 모달 특성

系 (1)	모우드 (2)	고유진동수 rad/sec (3)	감쇠율 (4)
구조체	1	8.90	0.05
	2	25.00	0.05
	3	36.00	0.05
비구조체	1	8.58	0.02
	2	19.52	0.02
	3	35.58	0.02
	4	36.58	0.02

체의 3번째 모우드의 비구조체 4번째 모우드는, 多衆同調하고 있음을 보여준다. 복합계 모우달 특성은 복합계 고유치 해석법으로 구한 정확한 값과 비교하였다. 고유진동수와 감쇠율이 표 4-4에 나타난 것처럼 정확한 값과 거의 일치함

표 4-4 구조-비구조체의 고유진동수와 감쇠율 (=ms=0.01mp)

Mode (1)	고유진동수 rad/sec		오차% (4)	감쇠율		오차% (7)
	정확 (2)	개략 (3)		정확 (5)	개략 (6)	
1	8.39	8.37	-0.2	0.0293	0.0297	1.2
3+1	0.09	9.12	-0.3	0.0405	0.0404	-0.3
3+2	19.5	19.4	-0.5	0.0203	0.0208	2.5
2	24.9	25.1	1.2	0.0491	0.0494	1.6
3+3	34.9	34.8	-0.3	0.0315	0.0319	1.3
3+4	36.8	36.6	-0.5	0.0228	0.0217	-4.8
3	36.9	36.8	-0.3	0.0363	0.0364	0.3

을 보여준다.

충응답스펙트럼법의 정밀도를 점검하기 위해 지반가속도 0.5g 지속시간 11초를 적용하여 해석한 결과와 충응답스펙트라를 적용하여 해석한 결과를 구조체와 비구조체의 질량비에 따라 비교하면 표 4-5와 같다. 구조체와 비구조체의 질량비가 증가할수록 오차는 다소 증가하나 가속도는 15% 이내이고 모멘트는 6.9% 임을 보여준다.

4-2-3 非構造體—構造體—非構造體의 動的 特性

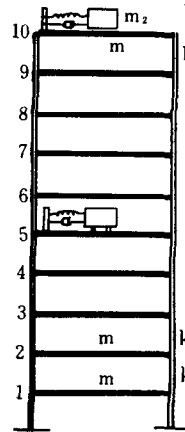
그림 4-4 처럼 10층 건물에 2개의 비구조체가 놓여있는 경우로서 각 층 강성과 질량은 K=

2,000t/cm, $m=1t\text{-sec}^2/cm$ 이고 구조체와 비구조체의 감쇠율은 모두 5%를 적용하였다. 구조체의 고유진동수는 표 4-6과 같다. 2번째 비구조체가 있을 때와 없을 때, 2번째 비구조체가 구조체의 첫번째, 2번째, 3번째 고유주기와 同調할 때의 충응답스펙트라는 그림 4-5~4-9와 같다. 또한 첫번째 비구조체의 구조체에 대한

표 4-5 비구조체의 응답거동

질량비 m_s/m_r (1)	자유도 (2)	가무로(g)			모멘트 m_i (g)		
		개략 (3)	정확 (4)	오차% (5)	개략 (6)	정확 (7)	오차% (8)
0.001	1	3.29	3.52	-6.5	0.250	0.262	-4.3
	2	17.4	16.4	6.1	0.145	0.135	6.9
	3	17.6	16.5	5.7	0.145	0.138	5.3
	4	3.31	3.43	-3.5	0.256	0.264	-3.0
0.010	1	2.95	3.21	-8.1	0.197	0.207	-4.9
	2	13.6	13.3	2.3	0.112	0.109	3.1
	3	13.7	13.3	3.0	0.113	0.110	3.0
	4	2.97	2.91	2.1	0.200	0.208	-3.9
0.050	1	2.46	2.87	-14.3	0.120	0.120	0.0
	2	8.21	8.15	0.7	0.0679	0.0656	3.6
	3	8.17	8.02	1.9	0.0662	0.0648	2.3
	4	2.00	2.29	-12.7	0.122	0.120	1.7

표 4-6. 고유진동수 (rad/sec)



1. 6.684
2. 19.903
3. 32.677
4. 44.721
5. 55.767
6. 65.566
7. 73.901
8. 80.585
9. 85.469
10. 88.444

그림 4-4. 構造体内的 非構造体들

질량비가 1%일 때와 10%일 때 각각 번째 비구조체의 질량비를 1%, 10%, 20%, 50%, 100%

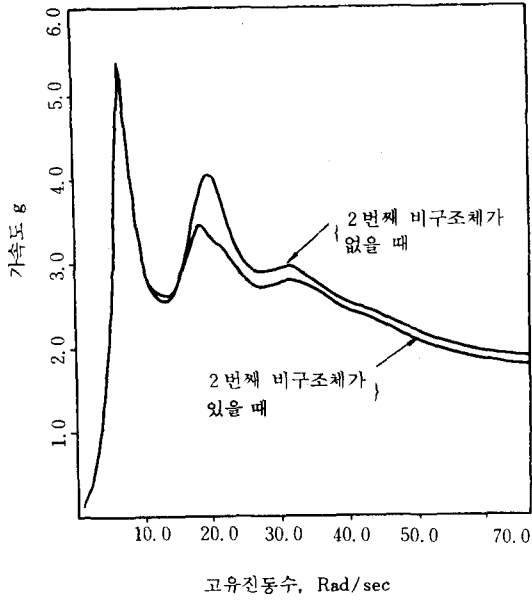


그림 4-5. 2번째 비구조체가 구조체의 2번째 고유진동수와 동조할 때의 총응답스펙트라.

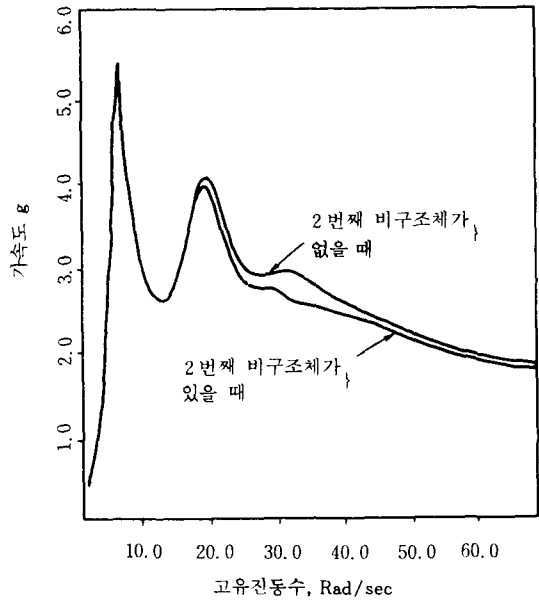


그림 4-6. 2번째 비구조체가 구조체의 3번째 고유진동수와 동조할 때의 총응답스펙트라.

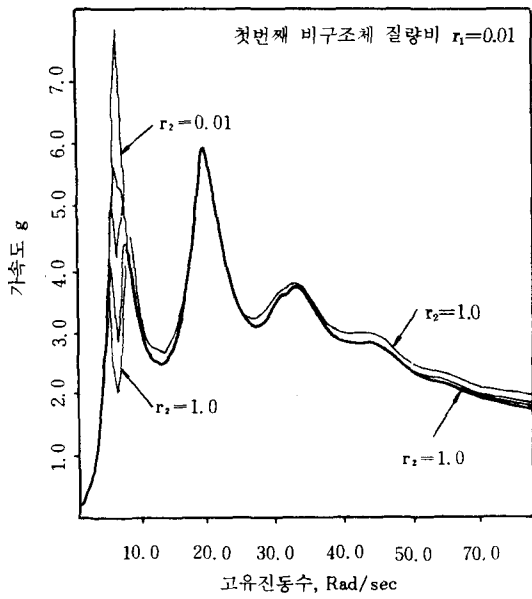


그림 4-7. 첫번째 비구조체 질량비 $r_1=0.01$ 일때 2번째 비구조체의 질량비별 영향.

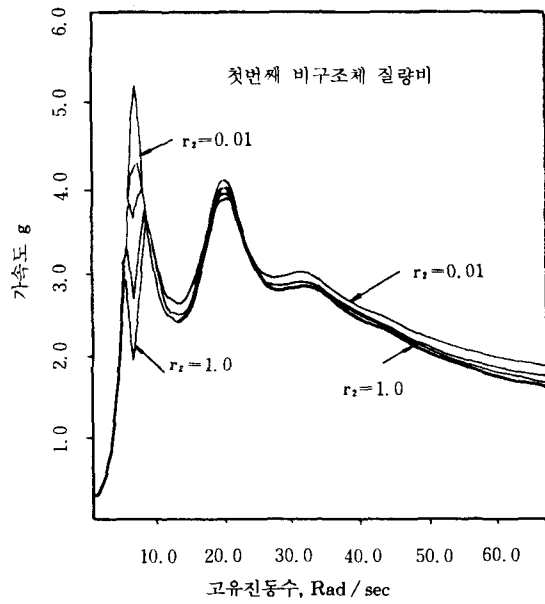


그림 4-8. 첫번째 비구조체 질량비 $r_1=0.1$ 일 때 2번째 비구조체의 질량비 r_2 별 영향.

로 변화시키면서 전개한 총응답스펙트라는 그림 4-9와 같다.

구조체에 비구조체가 하나있을 때보다 2번째 비구조체와 추가되면 첫번째 응답스펙트라 頂點

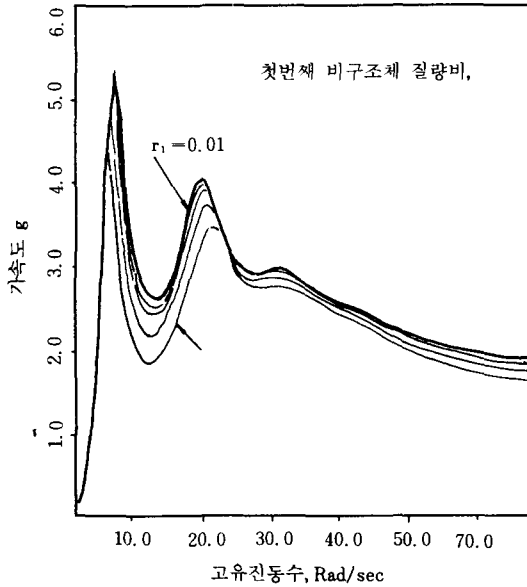


그림 4-9. 첫번째 비구조체 질량비 $r_1=0.1$ 일 때 2 번째 비구조체의 비동조영향.

은 약 23% 정도 감소했다. 그림 4-5~4-9에서 2 번째 비구조체 질량을 1%~100% 변경시켜 보았을 때 2 번째 비구조체의 질량이 클수록 그 영향이 크며, 2 번째 비구조체의 질량이 크면 同調 고유주기로부터 멀리 떨어져 새로운 고유주기를 생성하면서 스펙트라 특성을 변경시킨다.

V. 結 論

建築非構造部材와 建築設備 등 非構造體는 構造體에 지지되고 구조체는 地盤위에 건설되므로 地震動에 대한 非構造體의 應答舉動을 파악하기 위하여 우리나라의 지진동을 지반가속도와 應答스펙트라, 強震期間 등 구조적인 정량으로 수치화하고 地盤이 土質特性和 구조체의 固有特性이 비구조체 지지점의 입력지진에 미치는 영향을 실제구조물에 적용하여 해석하고 분석하였다. 그리고 非構造體는 主骨造解析에서 제외되는 모든 구성부재와 모든 설비를 대상으로 하므로 그 質量이나 減衰率 支持點剛性 등이 多樣하여 여러 상황별로 검토하였다. 즉, 구조체와 비구조

체의 고유주기가 서로 같아서 생기는 同調현상과 구조체와 非構造體의 동적운동이 서로 영향을 주는 相互作用 現象, 구조체와 비구조체의 감쇠 특성이 서로 다르므로서 발생하는 非典型減衰, 비구조체가 구조체의 여러 군데에서 지지될 때 생길 수 있는 空間커플링을 구조체-비구조체의 조합가능한 여러 경우별로 적용사례를 분석하였다. 이러한 지진동의 여러 매체를 통한 전파과정에서 地震動의 構造的 定量이 增幅·減少하여 가는 현상의 고찰을 통하여 複合構造系의 耐震設計 및 解析用 모델링 실무적용상 필요한 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 構造體-非構造體간의 質量比가 작을수록 相互作用의 영향은 감소하고 클수록 증가하며 구조체 지지층의 질량에 대한 비구조체 질량의 비 γ 가 0.01 이하면 同調여부에 관계없이 構造體와 非構造體의 相互作用을 무시하고 분리하여 해석할 수 있으나 γ 가 0.05 이상이면 그 비구조체는 구조체 해석용 모델에 動的特性이 반영되도록 해야 한다.
2. 構造體-非構造體間의 平均固有振動數에 대한 고유진동수의 差의 比가 클수록 相互作用의 영향은 감소하고 차가 적을수록 증가하며 構造體와 非構造體의 質量의 比 γ 가 0.01 보다 크고 0.05 보다 작을 경우는 구조체의 지배적인 진동수와 비구조체의 1차진동수의 차가 20% 이상이 되면 분리하여 해석할 수 있으나 20% 미만이면 비구조체의 동적특성을 구조체 해석용 모델에 반영해야 한다.
3. 構造體-非構造體간의 非典型減衰率比의 差가 固有振動數比에 따라 減衰率 媒介變數가 증가하면 相互作用의 영향도 증대하고 감소하면 영향도 감소한다.
4. 어떤 한 非構造體가 支持構造體의 지배적 진동 모드중 어느 것과 同調하면 다른 한 非構造體의 應答舉動에 심대한 영향을 미치며, 어떤 한 非構造體의 질량이 크면 클수록 다른 한 非構造體의 應答舉動은 더욱더 감소한다.
5. 構造解析用 모델링技法에 따라 構造體의 固有周期가 20% 정도까지 차이가 날 수 있으므로 設計用 層應答스펙트라는 적어도 $\pm 15\%$ 이상

頂點을擴張하되 여타 방법으로 산정한 固有週
期를 包括하도록 해야 한다.

참고문헌

1. 건설부, "건축물의 구조기준 등에 관한 규칙" 건설
부령 제 432 호 1988. 1. 6 제 14 조 지진하중
2. 건설부, "건축물의 내진구조 및 방재기준에 관한
연구," 1987. 1. 30.
3. 한국과학기술원, "건축물의 내진설계 이론 및 기
법", 1988. 7. 18.
4. 홍규선, "복합모형을 이용한 지반-구조물의 동적상
관관계에 관한 연구" 한국과학기술원, 1985.
5. 한국과학기술원 "지진에 대한 건축 / 토목 구조물의
해석 및 설계," 1986.
6. 김석구, "건축비구조체의 내진설계에 관한 연구"
연세대학교 산업대학원 1990. 2
7. N.M. Newmark and W.J. Hall "Earthquake
Spectra and Design" Earthquake Engineering
Research Institute, 1982. 3.
8. ATC-3-06 "Tentative provisions for The
Development of Seismic Regulations for Buildings.
9. TM5-809-10 "Seismic Design for Buildings".
10. TM5-809-10-1 "Seismic Design Guidelines
for Essential Buildings", 1986. 2.
11. Regulatory Guide 1.60 "Design Response Spectra
for Seismic Design of Nuclear Power Plants" U.S.
Nuclear Regulatory Commission, 1973. 12.
12. ASCE "Structural Analysis and Design of
Nuclear Plant Facilities "American Society of
civil Engineers, 1980.
13. Regulatory Guide 1.122 "Development of Floor
Response Spectra for Seismic Design of Floor
Supported Equipments or Components" U.S.
NRC, 1978. 2.
14. Takeru Igusa and Armen Der Kiureghian " "
Dynamic Characterization of Two-Degree of
Freedom Equipment-Structure systems" Journal
of Engineering Mechanics Vol. 111 No. 1. Jan.
1985.
15. Luis E. Suarez and Mahendra P. Singh "Seismic
Response of SDF Equipment-Structure System"
Journal of Engineering Mechanics vol. 113 No.
1. Jan. 1987.
16. Takeru Igusa and Armen Der Kiureghian " "
Dynamic Response of Multiply Supported Seco-
ndary Systems" Journal of Engineering Mechanics
vol.111, No.1. Jan, 1985.
17. Luis E. Suarez and Mehendra P.Singh "Floor
Spectra with Equipmen-Structure-Equipment
Interaction Effects" Journal of Engineering
Mechanics vol.115, No.2, Feb, 1989.
18. John Lysmer, Takekazu Jdaka, Chan-Feng Tsui,
H. Bolton Seed "FLUSH-A Computer Program
for Approximate 3-D Analysis of Soil-Strure
Interaction Problems" Report No. EERC 75-3
0 Nov, 1975, UCLA.
19. Gtstrudle User's Manual