

# 地盤에 대한 構造物의 相對剛도가 地盤-構造物 相互作用에 미치는 影響

Effects of Stiffness Characteristics of Super-Structure on Soil-Structure Interaction

朴	榮	基*
Park,	Hyung	Ghee
趙	良	熙**
Joe,	Yang	Hee
李	龍	一***
Lee,	Yong	Il

## Abstract

The flexibility of base material gives considerable influences on seismic responses of a structure. The effects of relative stiffness between super-structure and base material on dynamic soil-structure interaction are evaluated by parametric studies. Two 5-story buildings are used for the study; one is shearwall structure with relatively higher fundamental frequency and the other is frame structure with relatively lower fundamental frequency. The structures are modeled as beam-sticks coupled with springs and dashpots representing the base material. Dynamic equilibrium equations of the soil-structure interaction system are solved by mode superposition method using Rosset modal damping values.

Soil-structure interaction effect is found to be major concern in seismic analysis of shearwall structure in most cases while it seldom becomes engineering problem in frame-type structure. It is also found that seismic responses at lower elevation of the super-structure are amplified though they decrease at higher elevation as soil-structure interaction effects of the system increase.

## 要 旨

基礎地盤의 柔軟性은 구조물의 地震應答에 지대한 影響을 미치게 된다. 본 研究에서는 地盤에 대한 上部構造物의 相對剛도가 地盤-構造物 相互作用에 미치는 影響을 분석하였다. 解析모델로서는 基礎슬래브의 형태와 규격은 동일하지만 上部構造의 剛性이 상대적으로 큰 剪斷壁構造와 剛性이 작

\*正會員·仁川大學 助教授

\*\*正會員·韓國電力技術株式會社

\*\*\*正會員·韓國電力技術株式會社

은 뼈대 構造로 된 건물에 대하여 지반과 連繫된 集中質量모델을 작성하였으며, 運動方程式의 해석을 위해서는 Roesset의 모드減衰(Modal Damping)를 이용하는 모드重疊法을 사용하였다.

研究結果, 剪斷壁構造의 경우 대부분의 지반조건에 대하여 地盤—構造物 相互作用의 영향이 현저하게 나타나는 반면 뼈대構造의 경우 柔軟性地盤을 제외하고는 地盤—構造物 相互作用의 영향이 工學的으로 무시될 수 있음을 확인하였다. 또 地盤—構造物 相互作用의 영향이 增加할수록 구조물 上部에서의 地震應答이 減少하는 반면 구조물 下部에서의 地震應答은 오히려 增加한다는 사실을 알 수 있었다.

## 1. 序 論

基礎地盤의 柔軟성은 구조물의 地震應答에 지대한 影響을 미치게 된다. 이러한 影響의 정도는 地盤과 構造物의 상대적인 特性에 따라 좌우되며, 基礎地盤을 構造物과 連繫(Coupling)된 有限要素 혹은 集中要素(Lumped Parameter)로 모델링하여 地盤—構造物 相互作用을 解析함으로써 파악될 수 있다.

固定地盤上에 위치한 구조물의 耐震解析은 쉽고도 확실한 解析結果를 얻을 수 있는데 비하여 柔軟地盤上 構造物인 경우는 각종 地盤特性이 地盤의 變形率 및 入力運動의 振動數에 따라 변할 뿐만 아니라 그 確實성이 없어 解析이 어렵고 또한 正確한 結果值를 기대하기가 곤란하다.

1960년대말 이후 原子力發電所 建設의 본격화와 더불어 原子力發電所 構造物의 耐震解析에 대한 研究가 급진적으로 진행되었다. 이에 따라 耐震解析分野에서 가장 核心이 되는 地盤—構造物 相互作用에 관한 많은 研究結果가 발표되었다<sup>(1~4)</sup>.

그러나 이 분야의 研究중 地盤에 대한 구조물의 相對剛도가 地盤—構造物 相互作用에 미치는 影響에 대한 研究結果는 찾아볼 수 없고 다만 실제 구조물의 解析모델을 사용한 Case Study 혹은 Parametric Study를 遂行한 結果를 통하여 단편적인 地盤—構造物 相互作用의 影響에 대한 내용들이 발표되어 왔다. 이들 研究結果의 주내용은 地盤의 變形率 및 入力運動의 振動數에 無關한 半無限彈性體理論(Theory of Elastic Half-Space)을 적용하여서도 타당성있는 結果를 얻을 수 있는 방법에 대한 것이다<sup>(1,5,9)</sup>.

1974년 Tsai<sup>(5)</sup> 등은 入力運動의 振動數에 관

련된 地盤의 Impedance 函數에 대한 比較研究를 수행하여 表層이 비교적 깊고 均質한 地盤에서는 振動數에 無關한 Impedance 函數를 사용해서도 만족할만한 解析結果를 얻을 수 있음을 알았다. Hadjian 등<sup>(6)</sup>과 Seed 등<sup>(7)</sup>은 각각 1974년과 1975년에 地盤—構造物 相互作用 解析에 있어서의 有限要素法과 集中要素法의 長短點을 Case Study를 통하여 比較하였다. 또 Hadjian 등<sup>(8)</sup>은 原子爐建物 모델에 대한 Case Study를 통하여 集中要素法으로서도 變形率에 따라 변화하는 地盤의 特性을 고려할 수 있는 簡略法을 제시하였다. 美國 Bechtel社에서는 地盤—構造物 相互作用에 대한 특수연구업무를 수행하여 層狀地盤에서의 集中要素法의 적용, 基礎 및 構造物 자체의 埋入(Embedment)에 의한 影響 고려방법 등에 관한 解析指針을 작성 사용하고 있다<sup>(9)</sup>. 또 최근에는 Tsiicnias 등<sup>(10)</sup>이 上部構造物의 質量偏心に 의한 비틀효과가 地盤—構造物 相互作用에 미치는 影響에 관한 Parametric Study 結果도 발표하였다.

본 연구에서는 基礎슬래브의 形態와 規格은 동일하지만 上部構造의 剛성이 상대적으로 큰 剪斷壁構造와 剛성이 상대적으로 작은 뼈대構造로 된 建物에 대하여 각각 集中要素모델을 작성하고 각 모델에 대하여 地盤의 特性을 변화시켜 가면서 地盤—構造物 相互作用을 고려한 耐震解析을 수행함으로써 上部構造의 地盤間의 相對剛도의 變化에 따른 地盤—構造物 相互作用의 特性을 파악하였다.

## 2. 解析方法

본 연구를 위한 地盤—構造物 相互作用의 解析方法은 集中要素法을 이용하여 地盤과 構造物의 連繫모델(Coupled Model)을 작성하고, Roe-

ssset 方法<sup>(11,12)</sup>을 사용하여 連繫모델의 모드減衰 (Modal Damping)를 계산한 다음 이를 入力로 모드重疊法에 의한 動的解析을 수행하여 集中質量位置에서의 應答加速度時間履歷曲線 및 應答스펙트럼을 계산하는 順으로 進行하였다.

### 2.1. Roesset의 모드減衰

Roesset의 모드減衰 계산방법은 地盤—構造物 시스템이 각 모드별로 일정한 振動數를 갖는 單振動을 한다고 假定하고 振動사이클당의 最大變形에 너지에 대한 最大消滅에 너지의 比를 계산하는 방법으로서 식 (1)과 같이 표시되며, 비스코스減衰와 히스테라틱減衰의 영향을 동시에 고려할 수 있는 장점이 있다.

$$\beta_k = \frac{\phi'_{jk} M_{jk} \phi_{jk} + \phi'_{sk} M_s \phi_{sk}}{\phi'_{jk} M \phi_{jk} + \phi'_{sk} M \phi_{sk}} \quad (1)$$

$$\phi_{sk} = \phi_k - T \phi_{jk} \quad (2)$$

여기서

$\beta_k$  =  $k$  번째 모드의 等價비스코스減衰

$\phi_k$  =  $k$  번째 모드의 모드형태벡터

$M$  = 質量行列

$\phi_{sk}$  = 上部構造物의 변형에 해당하는 부분모드 형태벡터

$\phi_{jk}$  = 上部構造物의 剛體運動에 대한 地盤의 변형에 해당하는 부분모드 형태벡터

$T$  = 剛體運動의 變換行列

$M_s$  = 上部構造物의 減衰行列

$M_{jk}$  = 地盤의 減衰行列

' = 벡터의 轉置

### 2.2. 運動方程式의 解析

運動方程式의 解析은 우선 시스템 전체의 運動方程式을 모드行列을 사용하여 식 (3)과 같은 모드方程式 (Modal Equation)으로 분리하고, Wilson- $\theta$  方法<sup>(13)</sup>을 이용하여 각각의 모드方程式의 해를 구한 다음 그 결과를 식 (4)와 같이 代數적으로 合하여 最終應答을 얻는 소위 모드重疊法을 사용하였다.

$$[\ddot{q}] + [2\beta_k \omega_k] \{\dot{q}\} + [\omega_k^2] \{q\} = -\ddot{u} \{r_k\} \quad (3)$$

여기서

$\{q\}$ ,  $\{\dot{q}\}$ ,  $\{q\}$  = 일반좌표계 (Generalized Co-

rdinate)상의 모드加速度, 速度, 變位 벡터

$\omega_k$  =  $k$  번째 모드의 固有振動數

$\ddot{u}$  = 地盤運動 加速度벡터

$r_k$  =  $k$  번째 모드의 모드參與係數 (Modal Participation Factor)

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} q_j(t) \quad (4)$$

여기서

$x_i(t)$  = 실좌표계 (Physical Coordinate)상의 最終變位

$\phi_{ij}$  = 고유벡터  $\{\phi_j\}$ 의  $i$  번째 成分

### 2.3. 應答스펙트럼의 計算

運動方程式의 해석결과 얻어진 集中質量位置에서의 應答加速度時間履歷曲線을 임의의 1-自由度係에 地盤運動으로 입력하면 식 (5)와 같은 運動方程式을 얻을 수 있다.

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{u}(t) \quad (5)$$

여기서

$\ddot{x}, \dot{x}, x$  = 1-自由度係의 地面에 대한 相對加速度, 速度, 變位

$\xi$  = 1-自由度係의 減衰率

$\omega$  = 1-自由度係의 固有振動數

$\ddot{u}(t)$  = 入力運動

數值積分을 위하여 入力運動  $\ddot{u}(t)$ 를 시간에 대한 微小區間으로 나누고 그 구간 내에서의 변화를 線形으로 가정하면 運動方程式인 식 (5)는  $i$  번째 區間에서 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{u}_i - \frac{\Delta\ddot{u}_i}{\Delta t_i}(t-t_i) \quad (6)$$

여기서

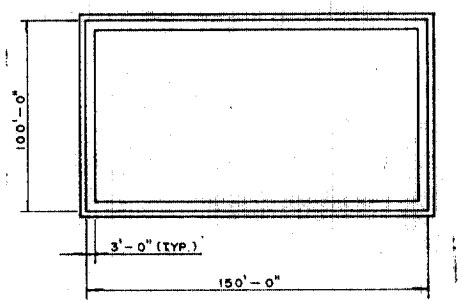
$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$$

$$\Delta\ddot{u}_i = \ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i$$

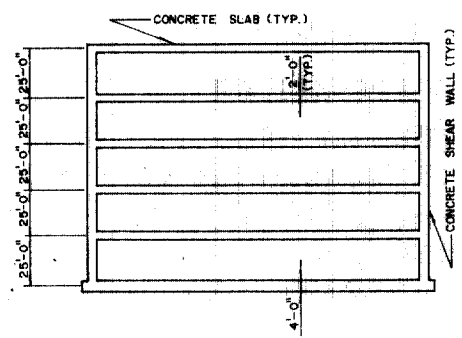
식 (6)을 解析하여 地面에 대한 相對加速度  $\ddot{x}$ 를 구하고 이를 入力加速度  $\ddot{u}(t)$ 와 더함으로써 集中質量位置에서의 絕對加速度를 얻을 수 있고 이러한 絕對加速度의 최대절대값을 각 振動數別로 계산하여 圖表化함으로써 應答스펙트럼이 작성된다.

### 3. 解析모델

彈性地盤상의 地盤—構造物 시스템을 구성하



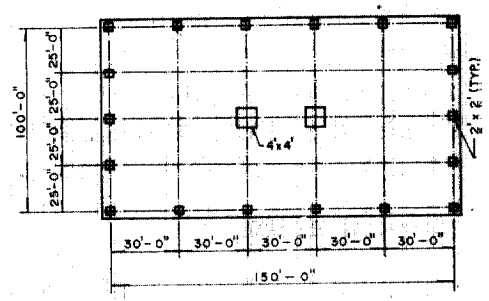
PLAN



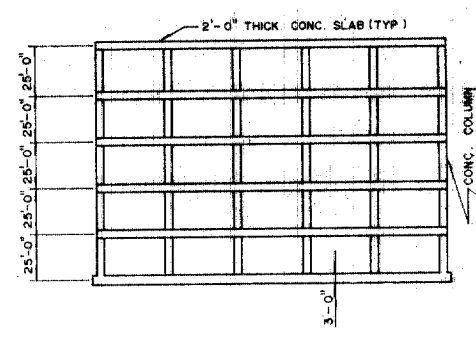
ELEVATION

그림 1. 解析에 사용된 전형적인 剪斷壁構造物

고 있는 地盤 및 構造物의 相對剛性に 따른 地盤-構造物 相互作用의 變化를 파악하기 위하여 상부구조의 剛성이 상대적으로 큰 그림 1 과 같은 전형적인 剪斷壁構造物과 剛성이 작은 그림 2 와 같은 砌대 構造物을 해석대상으로 선택하였다. 두 건물은 모두 100'×150'의 基礎슬래브를 가지며, 各층의 높이가 25'인 5층 建物이다.



PLAN



ELEVATION

그림 2. 解析에 사용된 전형적인 砌대構造物

그림 3은 이들 건물의 動的 解析을 위하여 작성된 集中要素모델이며, 剪斷壁構造物의 경우는 固定地盤上 固有振動數가 7.05 cps이며, 砌대構造物의 경우는 0.684 cps이다. 이때 모델의 主要素는 건물 各層의 剪斷壁 혹은 기둥의 그룹과 동일한 剛성을 갖도록 하였다.

모델의 작성에서는 구조물이 半無限彈性體위에 놓여 있는 것으로 가정하여 구조물의 埋入效果, 地盤의 層狀效果 및 變形率에 따른 地반특성의 變化 등은 무시하였고, 表層은 비교적 均質한 地반의 경우로 限定하였다.

두 건물 모델의 要素 및 節點特性은 表 1에 보인 바와 같다.

한편 地반의 特性은 剪斷波速度  $V_s$ , 포아송비  $\nu$  및 單位質量  $\rho$ 로 나타내었으며, 地盤의 Impedance 函數는 振動數 및 變形率에 無關한 公式<sup>(14)</sup>을 사용하여 계산하였다. 表 2는 各 경우별 地盤의 Impedance 函數를 나타내는 스프링常數와 減衰率을 나타낸 表이다.

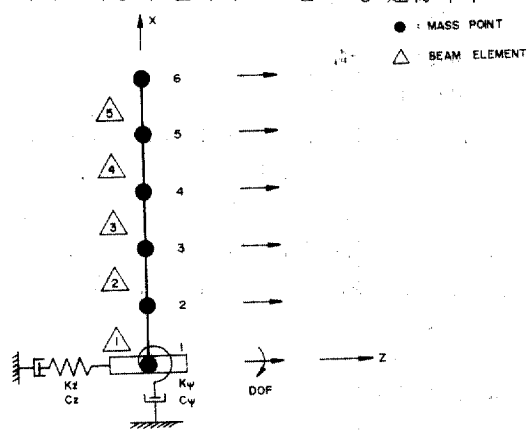


그림 3. 解析에 사용된 集中要素모델

表 1. 두 건물의 해석모델 特性比較

Model Properties		Shear Wall Str.	Frame Str.
Translational Mass, K-sec <sup>2</sup> /ft	Bottom Node	366.86	215.68
	Intermediate Nodes	314.44	151.86
	Top Node	227.11	145.81
Rotational Mass, K-ft-sec <sup>2</sup>	Bottom Node	3.98×10 <sup>6</sup>	1.80×10 <sup>6</sup>
	Intermediate Nodes	4.46×10 <sup>6</sup>	1.27×10 <sup>6</sup>
	Top Node	2.81×10 <sup>6</sup>	1.22×10 <sup>6</sup>
Equivalent Beam Member Properties	Axial Area, ft <sup>2</sup>	1,464.0	104.0
	Shear Area, ft <sup>2</sup>	600.0	87.89
	Moment of Inertia, ft <sup>4</sup>	2.75×10 <sup>6</sup>	66.67

表 2. 각 경우별 地盤特性, 스프링常數 및 減衰率

Case	Shear Wave Velocity, fps	Mass Density, K-sec <sup>2</sup> /ft <sup>4</sup>	Spring Const., K/ft		Damping Ratio				Remarks
			Horiz., K/ft	Rocking, K-ft/rad.	Shear Wall Str.		Frame Str.		
					Horiz.	Rocking	Horiz.	Rocking	
1	500	2.75×10 <sup>-3</sup>	2.32 ×10 <sup>5</sup>	7.457×10 <sup>8</sup>	0.449	0.071	0.620	0.136	Dense Sand
2	1,000	3.0 ×10 <sup>-3</sup>	1.012×10 <sup>6</sup>	3.254×10 <sup>9</sup>	0.468	0.078	0.648	0.146	Dense Sand
3	2,000	3.25×10 <sup>-3</sup>	4.385×10 <sup>6</sup>	1.41 ×10 <sup>10</sup>	0.488	0.084	0.674	0.156	Soft Rock
4	3,000	3.5 ×10 <sup>-3</sup>	1.063×10 <sup>7</sup>	3.417×10 <sup>10</sup>	0.506	0.091	0.700	0.166	Soft Rock
5	4,000	3.75×10 <sup>-3</sup>	2.024×10 <sup>7</sup>	6.508×10 <sup>10</sup>	0.524	0.097	0.724	0.175	Soft Rock
6	5,000	4.0 ×10 <sup>-3</sup>	3.373×10 <sup>7</sup>	1.085×10 <sup>11</sup>	0.541	0.103	0.748	0.184	Soft Rock
7	6,000	4.25×10 <sup>-3</sup>	5.161×10 <sup>7</sup>	1.660×10 <sup>11</sup>	0.557	0.108	0.771	0.193	Hard Rock
8	8,000	4.75×10 <sup>-3</sup>	1.025×10 <sup>8</sup>	3.297×10 <sup>11</sup>	0.589	0.120	0.815	0.209	Hard Rock
9	10,000	5.25×10 <sup>-3</sup>	1.771×10 <sup>8</sup>	5.694×10 <sup>11</sup>	0.620	0.131	0.857	0.225	Hard Rock

4. 解析 및 結果의 考察

첫 단계에서는 두 모델에 대하여 地盤特性을 변화시켜 가면서 수정된 컴퓨터 프로그램 SAP IV<sup>(15)</sup>를 사용하여 Roesset의 모드減衰를 계산하여 比較檢討하였다.

두번째 단계로서, 이미 계산된 모드減衰가 最終動的應答에 미치는 영향을 검토하기 위하여 人工地震波를 입력으로 한 時間履歷曲線解析을 수행하였다.

4.1. 振動數 및 모드減衰

表 3 및 表 4는 最終動的應答에 비교적 큰 영향을 미치게 될 주요 모드의 固有振動數 및 模參與係數를 각 경우별로 나타낸 圖表이며, 그

림 4 및 그림 5는 地盤—構造物 連繫모델의 固有振動數를 地盤의 剪斷波速度 변화에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 上部構造의 剛성이 큰 剪斷壁構造物의 경우 剪斷波速度가 4,000 fps 이하인 地盤의 영향이 시스템전체의 固有振動數에 미치는 영향이 현저한 반면에 低剛性 剛대構造物의 경우는 剪斷波速度가 1,000 fps 이상만 되면 지반이 固有振動數에 미치는 영향이 거의 없다. 또 그림 6과 그림 7은 두 모델에 대하여 계산된 모드감쇠값을 지반의 剪斷波速度의 변화에 따라 나타낸 것으로서 지반의 剪斷波速度가 증가함에 따라 모드감쇠값이 감소하며, 지반에 대한 영향의 정도는 固有振動數에서와 유사한 특징을 나타내고 있다.

이러한 현상은 시스템전체의 지배적인 모드인 첫번째 모드의 振動數 및 시스템 상부구조를 剛

表 3. 주요모드의 固有振動數 및 모드參與係數——剪斷壁構造物

Case	Mode 1		Mode 2		Mode 3		Remarks
	Freq., cps	MPF	Freq., cps	MPF	Freq., cps	MPF	
1	1.74	43.02	12.63	1.15	24.03	0.27	$V_s = 500$ fps
2	3.38	42.78	13.38	4.50	24.33	1.19	$V_s = 1,000$ fps
3	5.42	40.97	15.96	11.84	25.83	5.15	$V_s = 2,000$ fps
4	6.26	39.04	18.19	13.85	28.45	9.01	$V_s = 3,000$ fps
5	6.61	37.91	19.27	13.27	30.31	8.76	$V_s = 4,000$ fps
6	6.78	37.29	19.76	12.62	31.08	7.68	$V_s = 5,000$ fps
7	6.87	36.94	20.01	12.21	31.42	7.03	$V_s = 6,000$ fps
8	6.96	36.58	20.24	11.78	31.70	6.43	$V_s = 8,000$ fps
9	6.99	36.43	20.34	11.58	31.80	6.18	$V_s = 10,000$ fps

表 4. 주요모드의 固有振動數 및 모드參與係數——벽대構造物

Case	Mode 1		Mode 2		Remarks
	Freq., cps	MPF	Freq., cps	MPF	
1	0.665	26.36	1.945	8.97	$V_s = 500$ fps
2	0.680	25.89	1.984	8.30	$V_s = 1,000$ fps
3	0.683	25.78	1.992	8.14	$V_s = 2,000$ fps
4	0.684	25.76	1.994	8.12	$V_s = 3,000$ fps
5	0.684	25.75	1.994	8.11	$V_s = 4,000$ fps
6	0.684	25.75	1.994	8.10	$V_s = 5,000$ fps
7	0.684	27.75	1.994	8.10	$V_s = 6,000$ fps
8	0.684	25.75	1.995	8.10	$V_s = 8,000$ fps
9	0.684	25.75	1.995	8.10	$V_s = 10,000$ fps

體로 가정한 剛體運動振動數를 지반의 剪斷波速度 變化에 따라 작성한 그림 8과 그림 9에서 설명될 수 있다. 즉 剪斷壁構造物은 그림 8에서 보듯이 低剪斷波速度 區間에서 시스템全體 振動數와 지반의 특성을 강하게 나타내는 剛體運動振動數가 비슷하기 때문에 강한 地盤—構造

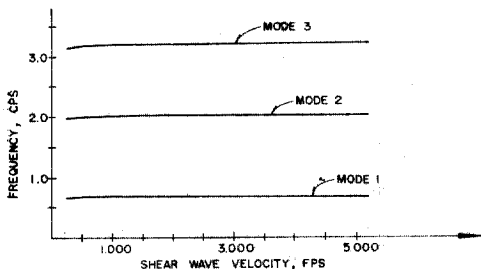


그림 4. 地盤의 剪斷波速度에 따른 시스템 固有振動數의 變化——剪斷壁構造物

物 相互作用의 영향이 예상되는 반면, 벽대構造物의 경우는 그림 9에서 보듯이 振動數 상호간에 큰 차이를 보이고 있으므로 地盤—構造物 相互作用 효과를 거의 기대할 수 없음을 알 수 있다.

또 지반의 剪斷波速度에 따른 각 모드의 振動數와 모드감쇠의 관계를 파악하기 위하여 모드의 振動數變化에 따른 모드감쇠값의 관계를 각 경우별로 두 모델에 대하여 각각 그림 10과 그림 11에 나타내었다. 剪斷壁構造物의 경우, 그림 10에서 보듯이 振動數가 增加할수록 감쇠값이 增加하는 추세를 보이고 있다. 이에 비하여 剛性이 작은 벽대구조물의 경우는 그림 11에서 보인 바와 같이 振動數가 增加할수록 모드감쇠값이 增加하는 일반적인 추세를 나타내고 있지만 지극히 柔軟한 地盤을 제외하고는 地盤

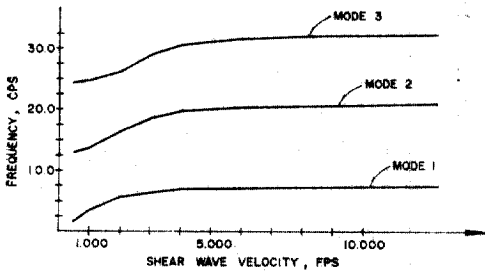


그림 5. 地盤의 剪斷波速度에 따른 시스템 固有振動數의 變化——띠대 構造物

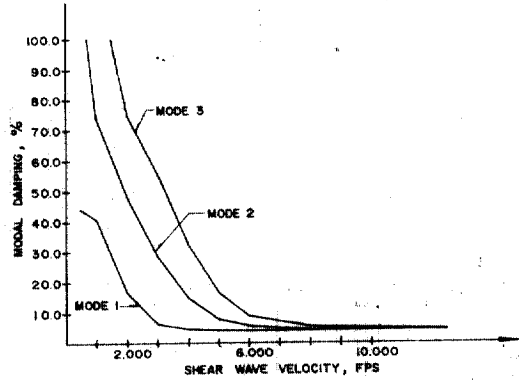


그림 6. 地盤의 剪斷波速度에 따른 모드감쇠값의 變化——剪斷壁 構造物

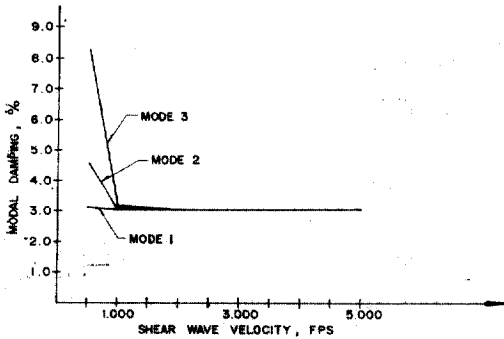


그림 7. 地盤의 剪斷波速度에 따른 모드감쇠값의 變化——띠대 構造物

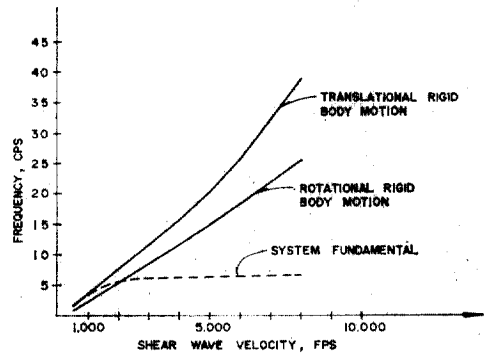


그림 8. 地盤—構造物 시스템 振動數와 剛體運動 振動數의 比較——剪斷壁 構造物

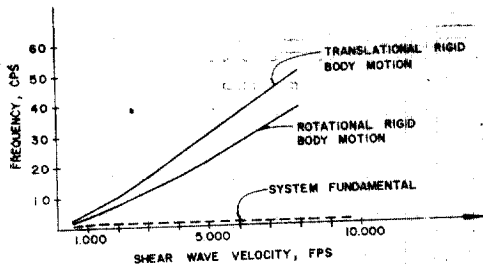


그림 9. 地盤—構造物 시스템 振動數와 剛體運動 振動數의 比較——띠대 構造物

과 構造物間의 相互作用이 거의 없음을 다시 확인할 수 있다.

#### 4.2. 時間履歷曲線解析 應答

時間履歷曲線解析의 入力運動으로서의 현재 프

국 Bechtel社에서 原子力發電所 設計에 사용되는 그림 12와 같은 持續時間 24秒인 水平人工地震波<sup>(16)</sup>가 사용되었다. 時間履歷曲線解析도 地盤의 特性變化에 따른 영향을 검토할 수 있도록 4가지의 서로 다른 剪斷波速度를 갖는 地盤에 대하여 각각 수행하여 각 경우별로 構造物의 各층에서 應答加速度時間履歷曲線을 계산하였다.

그림 13에서 그림 18까지는 이들 應答加速度時間履歷曲線으로부터 계산된 각 모델별, 위치별 加速度層應答스펙트럼을 地盤의 剪斷波速度별로 작성한 것이다. 해석결과를 고찰해 보면 剪斷壁構造物의 地震應答은 構造物 下部에서는 柔軟한 地盤의 경우가 堅固한 地盤의 경우보다 약간 크거나 혹은 큰 차이가 없는 반면에 構造物 上部에서는 堅固한 地盤의 경우가 柔軟한 地盤보다 현저하게 큰 應答을 보이고 있다. 이에

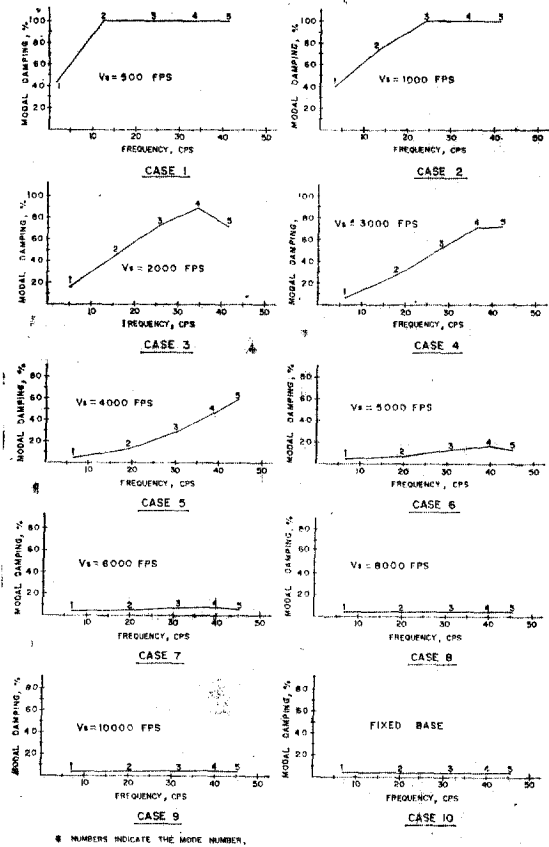


그림 10. 모드振動數와 모드減衰의 相關關係——  
剪斷壁構造物

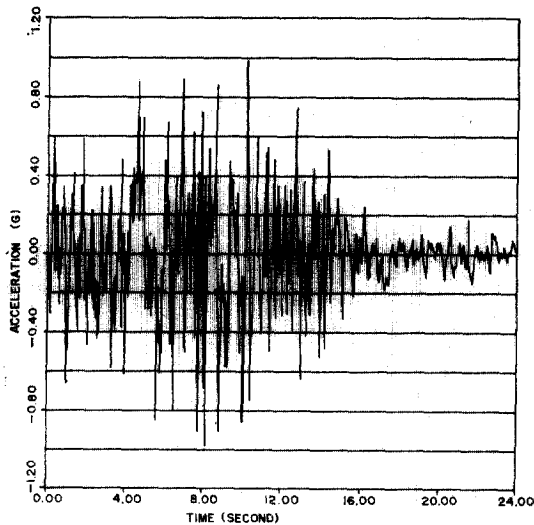


그림 12. 解析에 사용된 水平人工地震波

비하여 卽대構造物의 地震應答는 構造物의 上下

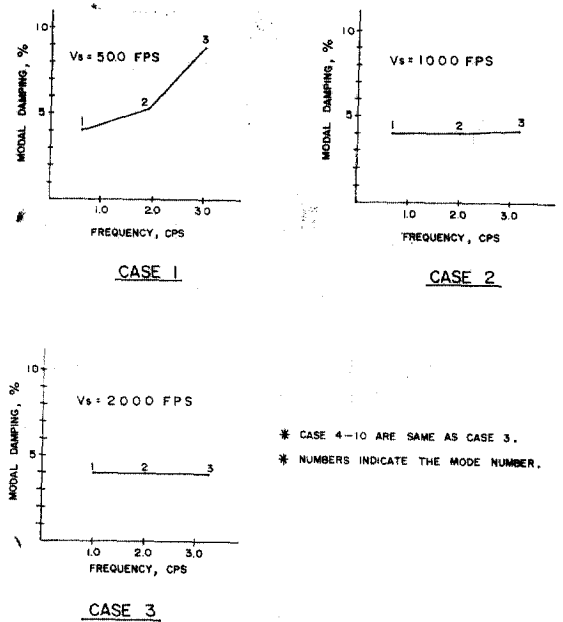


그림 11. 모드振動數와 모드減衰의 相關關係——  
卽대構造物

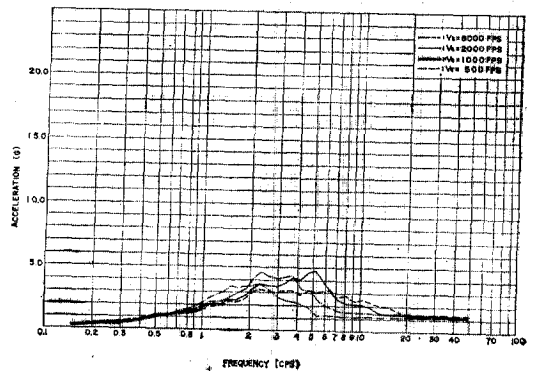


그림 13. 剪斷壁構造物의 加速度層應答스펙트럼  
——建物下層(節點 1)

部에서 모두 堅固한 地盤의 경우가 柔軟한 地盤  
보다 다소 큰 應答을 보였지만 그 정도가 剪斷  
壁構造物의 경우보다 크지 않음을 알 수 있다.

또 地盤特性和 構造物 各 층에서의 加速度應答  
間의 關係를 파악하기 위하여 構造物의 높이에 따  
른 地震應答의 變化를 그림 19와 그림 20에 각  
각 圖示하였다. 그림에서 보듯이 剪斷壁構造物  
의 경우는 構造物 下部의 應答이 地盤의 特性에  
큰 影響을 받지 않는 반면에 構造物 上部로 갈  
수록 地盤의 影響이 增加하게 된다. 또 地盤—構  
造物 相互作用의 影響이 增加할수록 構造物 上部



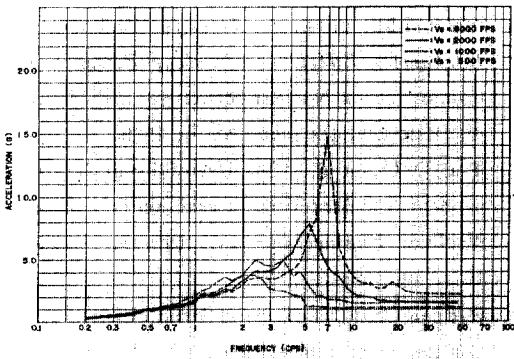


그림 14. 剪斷壁構造物의 加速度層應答스펙트럼  
— 建物中間層(節點 3)

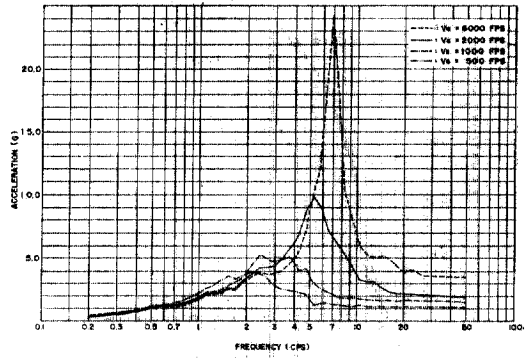


그림 15. 剪斷壁構造物의 加速度層應答스펙트럼  
— 建物上層(節點 6)

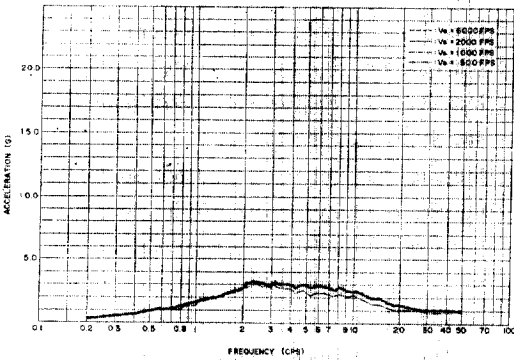


그림 16. 樑대構造物의 加速度層應答스펙트럼  
— 建物下層(節點 1)

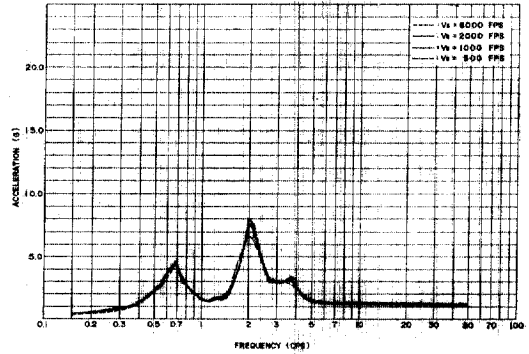


그림 17. 樑대構造物의 加速度層應答스펙트럼  
— 建物中間層(節點 3)

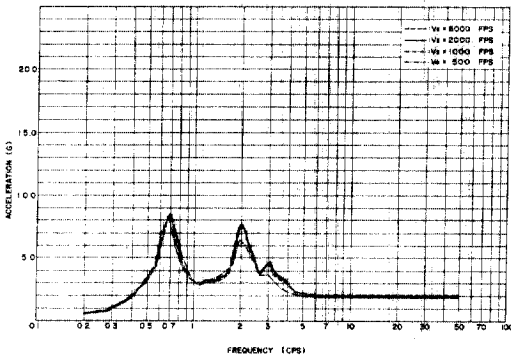


그림 18. 樑대構造物의 上層 加速度層應答스펙트럼  
— 建物(節點 6)

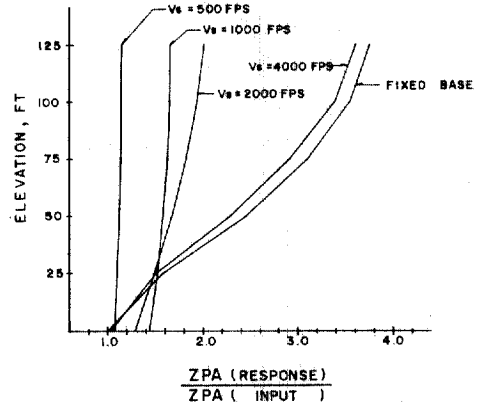


그림 19. 構造物 높이에 따른 地震應答의 變化  
— 剪斷壁構造物

에서의 地震應答은 減少하는 반면 構造物下部에서의 地震應答은 오히려 增加하고 있음을 볼 수 있다. 이에 비하여 樑대構造物에서는 구조물의 높이나 지반의 특성에 관계없이 그 應答이 지반의 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다.

## 5. 結 論

本 研究에서 수행된 地盤에 대한 構造物의 相對剛性에 따른 地盤—構造物 相互作用에 대한 Parametric Study 結果를 分析하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

1) 上部構造의 剛性이 큰 剪斷壁構造物의 경우

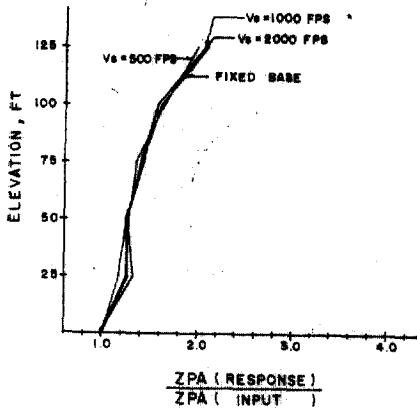


그림 20. 構造物 높이에 따른 地震應答의 變化  
—— 吡대 構造物

는 地盤—構造物 相互作用의 影響이 현저하게 나타나며 그 정도는 地반의 剪斷波速度의 크기에 逆比例한다. 그러나 地반의 剪斷波速度가 4,000 fps를 초과하는 경우는 地盤—構造物 相互作用의 影響이 工學的인 문제해결을 위해서는 無視될 수 있을 정도이다.

- 2) 上部構造의 剛性이 작은 吡대構造物의 경우는 地반의 剪斷波速度가 1,000 fps 미만의 地반을 제외하고는 地盤—構造物 相互作用의 影響이 工學的으로 無視될 수 있다.
- 3) 地盤—構造物 시스템의 振動數가 增加할수록 즉 높은 모드로 갈수록 모드감쇠값은 증가한다.
- 4) 地盤—構造物 相互作用의 影響이 增加할수록 構造物下部의 地震應答은 增加하며, 構造物上部의 應答은 減少하는 추세를 보인다.

### 參 考 文 獻

1. Whitman, R.V. and Richart, F.E., "Design Procedure for Dynamically Loaded Foundation", *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 93, No. SM6, Nov. 1967, pp.169~193.*
2. Lysmer, J., et al., *FLUSH-A Computer Program for Approximate 3-D Soil-Structure Interaction Problems*, Report No. EERC 75-30, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkely, Nov. 1975.
3. *CLASSI/ASD-Computer Program for Three-Dimensional Soil/Foundation Interaction Analysis, Version 2.0*, ASD International, Inc.,

San Francisco, California, Aug. 1984.

4. Idriss, I.M., et al., *Analyses for Soil-Structure Interaction Effects for Nuclear Power Plants*, Committee on Nuclear Structures and Materials of Structural Division, ASCE, 1979.
5. Tsai, N.C., et al., "The Use of Frequency Independent Soil-Structure Interaction Parameters", *Nuclear Engineering and Design, Vol. 31, 1974, pp.168~183.*
6. Hadjian, A.H., et al., "Soil-Structure Interaction: Continuum or Finite Element?", *Nuclear Engineering and Design, Vol. 31, 1974, pp.151~167.*
7. Seed, H.B., et al., "Soil-Structure Interaction Analysis for Seismic Response", *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, May 1975, pp.440~457.*
8. Hadjian, A.H., et al., "Simplified Soil-Structure Interaction Analysis with Strain Dependent Soil Properties", *Nuclear Engineering and Design, Vol. 31, 1974, pp.218~233.*
9. Bechtel Power Corp., "A Comparative Study in Soil-Structure Interaction", *Technical Report, Rev. 1, Sep. 1974.*
10. Tsicnias, T.G. and Hutchinson, G.L., "Soil-Structure Interaction Effects on the Steady-State Response of Torsionally Coupled Buildings", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 12, 1984, pp.237~262.*
11. Rosset, J.M., et al., "Modal Analysis for Structures with Foundation Interaction", *Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. ST3, March 1973, pp.399~416.*
12. 조양희, 地반—구조물 상호작용을 고려한 모드감쇠에 대한 연구, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 1984.
13. Bathe, K.J. and Wilson, E.L., *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, Inc., 1976.
14. Richart, F.E., et al., *Vibrations of Soils and Foundations*, Prentice-Hall Inc., 1969, Chap. 10.
15. 한국전력기술주식회사, 원자력발전소 구조물의 내진해석, 1983.12.
16. Bechtel Power Corp., *Bechtel Topical Report BC-TOP-4A*, Rev. 4, 1981. (接受: 1985. 2. 7)