

구조물의 내진 해석을 위한 지반 입력운동의 산정에 관한 연구

A Study on the Ground Input Motion for Seismic
Analysis of Structures

이 인 모*

Lee, In-Moo

송 태 원**

Song, Tae-Won

허 영***

Huh, Young

Abstract

The ground input motions used for seismic analysis of structures are studied in this paper. The one-dimensional wave propagation theory, the simple transfer function by Elsabee and Morray, and the finite element method that can account for the effect of scattering field, respectively, are used to get the ground input motions, and the results by these methods are compared among others. The responses of structures are also computed by both finite element analysis and elastic half space analysis, using the ground input motions obtained by the different methods mentioned above, and the computed results are analyzed. In addition, the parametric study is performed to analyze the effect of the increase of soil stiffness on the response of structures, and on that of the ground input motions.

The responses of structures obtained are compared with the results obtained using the Building Code on seismic analysis for structures in Korea.

The results of this study show that the ground input motions obtained without considering the effect of scattering field was 2 times larger than those with scattering effect, concluding that the effect of scattering field may not be ignored when obtaining the ground input motion.

요 지

본 연구에서는 구조물의 내진해석에 사용되는 입력운동을 1차원 파전파이론, Elsabee-Morray의 이론, 유한 요소이론을 이용하여 산출하여 상호비교 검토하였고 산정된 입력운동을 이용해서 구조물의 응답을 유한요소 해석과 반무한체 해석을 이용하여 산정해서 역시 비교 검토하였다. 지반의 강성증가에 따른 입력운동과 구조물 응답의 변화를 고찰하기 위하여 Parametric Study를 수행하였

* 정회원, 고려대학교 토목공학과 조교수

** 고려대학교 대학원 토목공학과

*** 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원.

으며 산출된 여러 이론들에 따른 구조물 응답결과를 내진기준에 따라서 산출된 구조물 응답과 비교하였다.

해석 결과는 Scattering Field 효과를 고려하지 않은채 산출된 입력운동이 Scattering Field 효과를 고려하여 얻어진 입력운동보다 약 2배 정도 크게 산출되어 결과적으로 입력운동의 차이에 따른 구조물응답이 상당한 차이를 보여 내진 설계시 이 효과를 무시할 수 없을 정도로 큼을 알 수 있었다.

1. 서론

지반과 구조물 사이에서는 지진의 발생으로 인해 지반 구조물 상호작용(soil-structure-interaction)이 일어날 수 있으며 이러한 현상은 구조물의 강성에 비해 지반의 강성이 작아질수록 더욱 심해진다. 동일한 구조물에 같은 조건의 동적하중이 가해졌을 때 지반조건에 따라 구조물의 동적 거동은 달라진다. Fig.1은 흙과 암반 위에 구조물이 각각 세워졌을 경우에 지진파에 의한 지반과 구조물의 전체적인 거동을 나타내고 있는데 Fig.1의 (a)에서 점 A의 거동은 점 O의 거동과 다르며 Fig.1의 (b)에서 점 C의 거동과는 오히려 비슷한데 이는 암반위에 있는 구조물은 지반-구조물의 상호작용을 거의 안받지만 연약지반위에 구조물이 세워진 경우는 큰 영향을 받는 원인 때문이다. 그리고 Fig.1의 (c)에서 점 D의 거동이 점 E의 거동과 Soil Am-

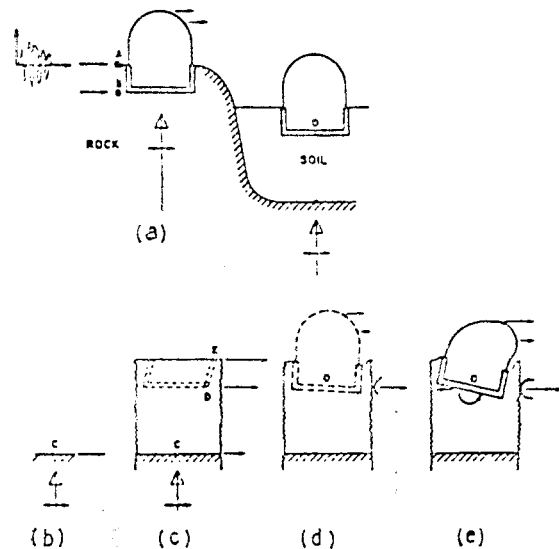


Fig.1 Seismic response of structure founded on rock and soil¹³⁾

plification 현상에 의해서 다르며 Fig.1의 (d)에서 점 O의 거동과는 Scattering Field 효과에 의해서 다른 양상을 보여준다. 또한 Fig.1의 (e)에서 점 O의 거동은 Fig.1의 (d)에서 점 O의 거동과 지반 구조물 상호작용의 영향에 의해서 다른 거동을 나타내며 이를 Inertial Interaction 이라 한다. 지반 구조물 상호작용의 완전한 해석을 위해서는 깊이에 따른 지반특성 변화, 지반의 비선형특성, 3차원 효과, 지반운동을 일으키는 파의 복잡한 특성, 인근 구조물과의 상호작용 영향등을 고려해야 하지만 실질적으로는 이를 모두 고려하기는 그리 간단하지 않기 때문에 지반 구조물 시스템의 이상화를 통하여 상호작용의 영향을 평가한다.

본 연구에서는 이상에서 언급된 여러가지 사항에 대한 이상화 작업을 통하여 자유장(free field)과 Scattering Field에서의 입력운동이 어느정도의 차이를 보이고 이러한 차이가 구조물의 응답에 어느정도의 영향을 미치는지를 평가하기 위하여 자유장의 기초가 묻히는 깊이에서의 입력운동을 1차원 파전파이론과 Elsabee-Morray 전달함수를 이용하여 산출하고 Scattering Field로서 기초가 묻힌 자리를 파놓은 경우, 콘크리트 기초가 묻혀있는 경우, 구조물이 독립으로 세워져 있는 경우, 인근 구조물이 존재하는 경우에 유한요소 해석을 이용하여 기초깊이에서의 입력운동을 산정하였고, 이 입력운동을 이용하여 구조물의 응답을 유한요소 해석과 반무한체 해석을 이용하여 산출하여 비교검토하였다.

2. 기본이론

본 연구에서는 지반의 입력운동을 산정하기 위해서 1차원 파전파 이론, Elsabee-Morray 이론, 유한요소이론을 이용하였으며 산출된 입력운동

을 이용하여 구조물의 응답을 얻기 위해서 유한 요소와 반무한체의 개념을 이용하였는 바 이 이론들에 대한 개략적인 내용은 다음과 같다.

2.1 지반의 동역학적 특성치의 산정

지반은 아주 약한 진동에 대해서는 미소한 변형을 보이기 때문에 비선형 효과를 고려하지 않더라도 결과에 많은 오차를 초래하지 않으나 지진과 같은 강한 진동에 대해서는 큰 변형으로 인해서 지반의 비선형 효과를 고려해야만 한다.

본 연구에서는 지반의 비선형 특성을 Seed and Idriss(1970)가 사질토에 대해서 제안한 감쇠비-변형률곡선, 동적전단계수-변형률곡선³⁾과 Hardin and Drenivich(1972)가 제안한 응력 변형률곡선³⁾을 이용, 등가선형해석을 통해서 지반의 동역학적 특성치를 산출하였다.

2.2 1차원 파전파 이론

이 이론은 Fig.2에서 보여진 것처럼 선형 점탄성 시스템을 통하여 수직방향으로 전파하는 전단파에 의한 응답을 산출하기 위한 것이다.^{6,11)} 지반 시스템은 N 개의 수평방향으로 무한하고 바닥경계로서 Halfspace를 가진 수평층으로 구성되어 있으며 각층은 층 두께 h_i , 밀도 ρ_i , 전단계수 G_i , 감쇠계수 β_i 를 가지고 있다.

주파수 w 의 조화운동에 대한 파동방정식(wave equation)은 다음과 같다.

$$U(x, t) = E \exp\{i(kx + wt)\} + F \exp\{-i(kx - wt)\} \quad \dots\dots(1)$$

$$k^2 = \frac{w^2}{G + iw\eta} = \frac{w^2}{G^*} \quad \dots\dots(2)$$

$U(x, t)$: 수평변위 G^* : 복소전단 계수(complex shear modulus) η : 점성계수(viscosity) k : Complex Wave Number G : 전단계수 E : Amplitude of Incident Wave F : Amplitude of Reflected Wave

$$G^* = G + iw\eta = G(1 + 2i\beta) \quad \dots\dots(3)$$

또한, 전단응력은 다음과 같다.

$$\tau(x, t) = G \frac{dU}{dx} + \eta \frac{d^2U}{dxdt} = G^* \frac{dU}{dx} = ikG^* \{E \exp(ikx) - F \exp(-ikx)\} \exp(iwt) \quad \dots\dots(4)$$

식(1)은 Fig.2에서 보여진 각층에 대해서 적용할 수 있으며 전단응력과 변위는 모든층들 사이

의 경계면에서 연속이어야만 한다는 조건과 지표면에서의 전단응력은 0라는 조건을 이용하여 지반의 m 번째층과 n 번째층 사이에서의 전달함수를 다음과 같이 산출할 수 있으며 이 전달함수를 이용하여 m 번째층에서의 응답으로부터 n 번째층에서의 응답을 구할 수 있다.

$$An, m(w) = \frac{e_m(w) + f_m(w)}{e_n(w) + f_n(w)} \quad \dots\dots(5)$$

$$e_m(w) = E_m(w) / E_1 \quad \dots\dots(6)$$

$$f_m(w) = F_m(w) / F_1 \quad \dots\dots(7)$$

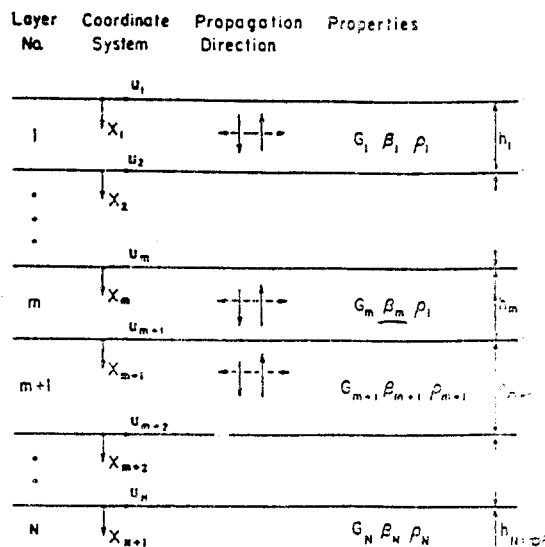


Fig. 2 One-dimensional system

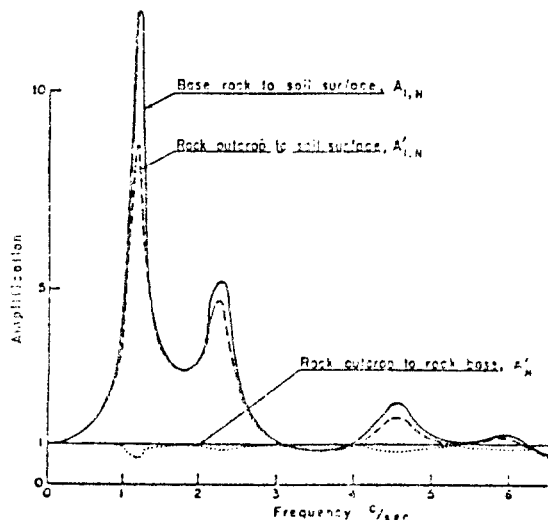


Fig. 3 Transfer functions¹¹⁾

E_1, F_1 : 지표면에서의 Incident Wave 와 Reflected Wave의 Amplitude, 여기서 $e_m(w), f_m(w)$ 는 $E_1=F_1=1$ 인 경우에 있어서의 진폭을 말한다. 한 예로 Fig. 3 은 기저암반(baseroack)과 Outcropping Rock 에 대해서 지표면의 응답을 구하기 위한 전달함수를 비교한 것이다.¹¹⁾

2.3 Elsabee 와 Morray 의 이론

Elsabee 와 Morray 는 수직으로 전파하는 SH, SV 파에 대하여 구조물의 일부가 지반에 묻힌 구조물(embedded structure)에 대하여 지반의 Impedance 함수와 지표면으로부터 임의의 깊이에서의 응답을 산정하기 위한 공식을 제안하였다.⁴⁾ 이들이 제안한 수평방향운동(horizontal translation)과 회전운동(rotational motion)에 대한 전달함수는 다음과 같다.⁴⁾

$$\text{수평운동} : F_h(w) \begin{cases} \cos(\pi/2 * f/f_1) & f \leq 0.7f_1 \\ 0.453 & f > 0.7f_1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{회전운동} : F_r(w) \begin{cases} 0.257/R * 1 - \cos f \leq f_1 \\ (\pi/2 * f/f_1) \\ 0.257/R & f > f_1 \end{cases} \quad (9)$$

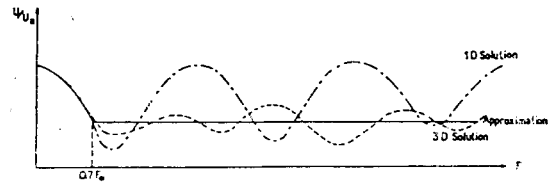
C : 전단파속도 E : 매입깊이 f, f_1 : 주파수(cps)
 R : 기초반경

여기서 $f_1 (=C/4E)$ 은 매입깊이(embedment region)에서 지반의 고유진동수이다.

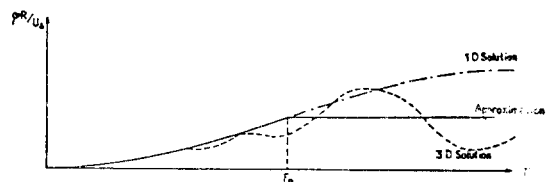
Fig. 4 는 주파수에 따른 회전운동과 수평운동의 전달함수를 나타내고 있다. 그러나 Elsabee 와 Morray 가 제시한 전달함수는 일반적으로 원전구조물에서 쓰이는 $E/R=0.5-1.5$ 인 경우에만 타당한 결과를 주는 것으로 알려져 있다.

2.4 유한요소해석

유한요소를 이용한 해석은 지반거동의 선형 혹은 비선형 거동의 표현이 가능하나 엄격한 의미의 비선형 해석을 위해서는 완전한 3 차원 모델과 지반의 비선형 구성방정식을 갖추어야 하므로 대부분의 모델링은 2 차원 혹은 근사 3 차원으로 이루어지고 비선형 거동은 등가선형해석(equivalent linear analysis) 기법으로 나타낸다. 그리고 각 요소의 질량 및 강성행렬의 구성은 비교적 용이하나 감쇠행렬은 재료특성과 운동방정식의 풀이방법에 깊게 연관되어 있으므로 각 관련내용을 종합하여 선택한다.^{8,10)} 유한요소해



(a) Horizontal



(b) Rotational

Fig. 4 Transfer function by elsabee-morray

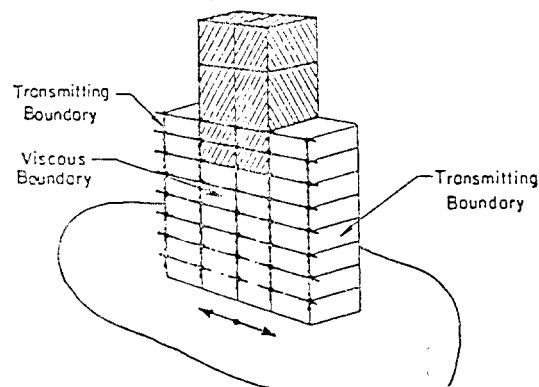


Fig. 5 Simplified soil-structure system

석에서의 지반감쇠는 지반의 재료감쇠로 고려하며 재료감쇠후에도 남은 손실에너지는 경계에서 발산감쇠(radiation damping)로 처리한다. Fig. 5 에 보여진 것과 같은 지반구조물 시스템에 지진하중이 가해졌을 때 운동방정식은 아래와 같이 구성된다.^{7,8)}

$$[M] \{U\} + [K^*] \{U\} = - \{m\} \ddot{Y} - \{V\} - \{F\} - \{T\} \quad \dots\dots(10)$$

- $[M]$: 질량 행렬
- $[K^*]$: $K(1+i2\beta)$
- $\{V\}$: 점성경계에 작용하는 힘
- $\{F\}$: 각 Slice 의 끝에 작용하는 힘
- $\{T\}$: 전달경계(transmitting boundary)에 작

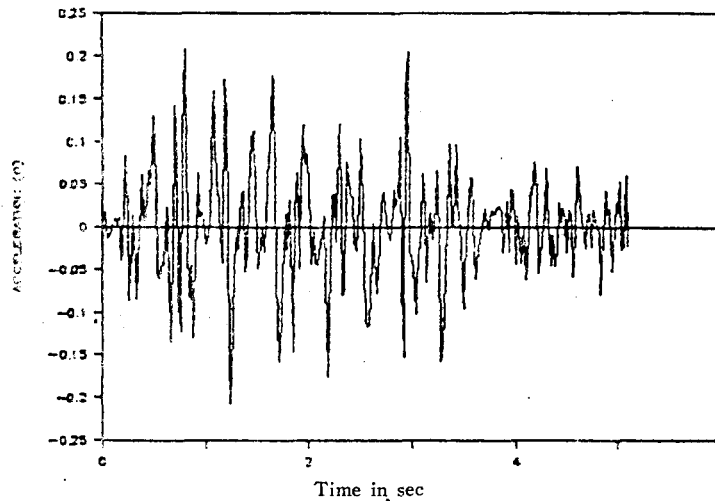
3. 해석에의 응용

3.1 입력운동 산정

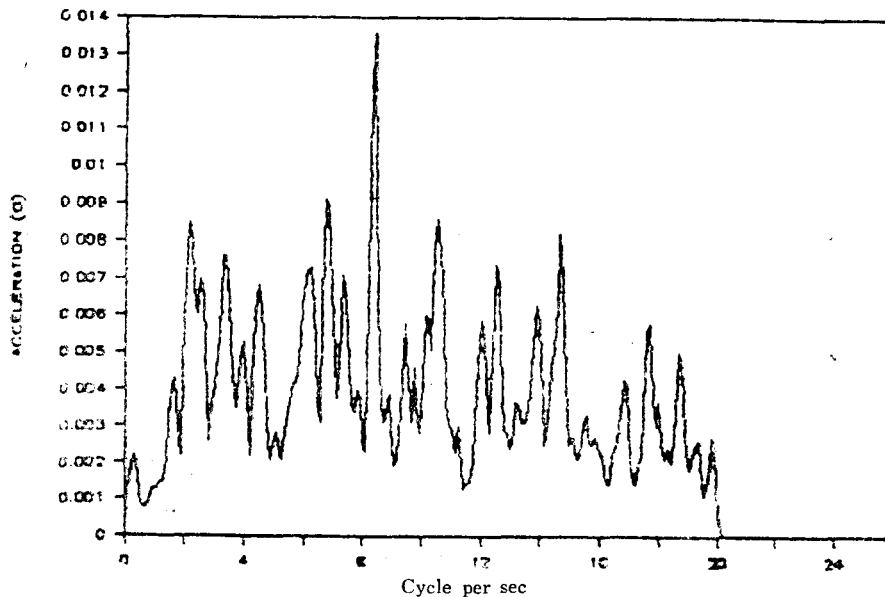
본 연구에서는 입력운동의 산정을 위해서 Fig. 7에서와 같이 우리나라의 실정에 맞게 만들어진 인공지진파¹⁾를 기저암반에 입력하였으며 지반은 사질토(sand)를 이용하였다. 그리고 입력운동을 산정하기에 앞서 지반의 동역학적 특성치를 산출하였다. Table 1에 산출된 지반의

Strain-Compatible 특성치가 수록되어 있다.

1차원 파전파 이론을 이용하여 입력운동을 산출하기 위하여 이용된 지반은 Fig. 8과 같으며 결과를 산출하기 위하여 1차원 파전파 이론을 근거로 만들어진 프로그램 SHAKE를 이용하였다. 그리고 Elsabee-Morray의 이론을 이용한 입력운동의 산정은 자유장에서 구해진 지표면에서의 응답을 이용하여 Elsabee와 Morray가 제시한 전달함수를 통해서 기초깊이에서의 입력운동을 산출하였다. 이용된 지반의 모델링은 1차



(a) 시간 이력



(b) 주파수 이력

Fig. 7 Artificial acceleration

Table 1 Strain-compatible soil properties

	SAND	
	G(KIP/FT ²)	β
Layer 1	4,955	0.05
Layer 2	5,418	0.06
Layer 3	5,299	0.07
Layer 4	4,674	0.08
Layer 5	5,187	0.07
Base rock	300,000	—

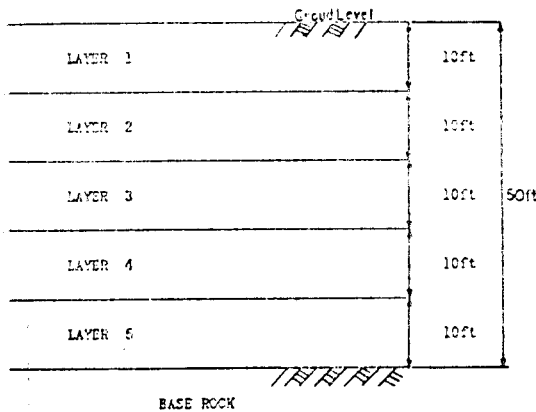


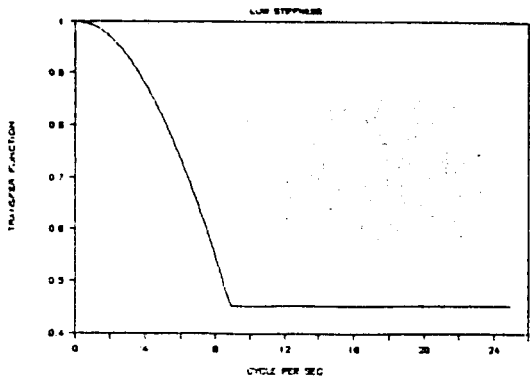
Fig. 8 Soil modeling for analysis using 1-d wave propagation theory

원파전파 이론에 이용된 것과 동일하며 지반의 재료 특성치도 동일하다. Fig. 9는 사질토에 대한 전달함수를 보여주고 있으며 지반의 강성이 Elsabee-Morrays의 이론에 의해서 산출된 입력운동에 어느정도의 영향을 끼치는지를 알아보기 위하여 지반의 강성을 변화시켜 가면서 입력운동을 산출하였다. 유한요소를 이용한 입력운동의 산정은 Scattering Field 효과를 고려하기 위한 것으로 기초가 매입될 위치가 굴착되어 있는 경우(CASE 1), 콘크리트 기초가 매입되어 있는 경우(CASE 2), 구조물이 축조되어 있는 경우(CASE 3), 인근 구조물이 존재하는 경우(CASE 4)의 네가지 경우에 대하여 수행되었으며 이들에 대한 지반과 구조물의 모델링은 Fig. 10, 11, 12, 13에 도시되어 있고 유한요소를 이용한 입력을 산정하기 위하여 프로그램 FLUSH를 이용하였다.

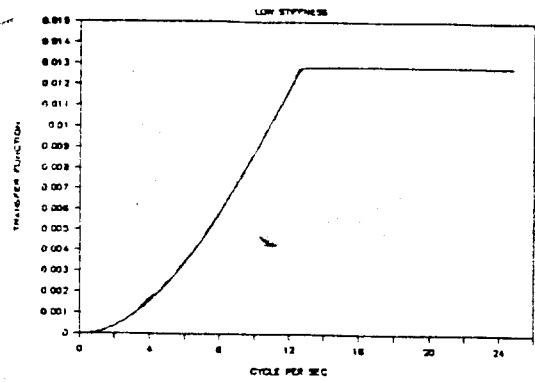
1 차원 파전파이론, Elsabee-Morrays의 이론,

유한요소이론을 이용하여 산출된 기초깊이에서의 응답가속도(response acceleration)는 Fig. 14 ~ Fig. 17에 수록하였다. 1 차원 파전파 이론으로 산출된 입력운동값은 Elsabee와 Morrays이론으로 산출한 값과 비슷하였는데(Fig. 14) 이것은 지반의 강성이 큰 경우에 있어서는 1 차원 파전파이론에 의한 입력운동의 산정을 Elsabee와 Morrays의 방법으로 대체하여도 결과에 작은 오차를 유발한다는 사실을 의미하는 것이라 하겠으며 유한요소를 이용하여 산정된 CASE 1과 CASE 2에 대한 입력운동 산정결과는 비슷하게 산출되었으나 이러한 결과는 1 차원 파전파 이론을 이용하여 기초깊이에서 산출된 입력운동과는 상당한 차이를 보여 1 차원 파전파이론으로 산출된 값이 frequency에 따라 2~3배 크게 산출되었다. 특히 maximum peak acceleration의 경우 약 3배정도 크다. (Fig. 15). 이것은 Scattering Field 효과에 따른 결과로 사료된다. Scattering Field 효과에 대한 또 하나의 증거로서 유한요소 해석을 이용하여 자유장의 기초깊이에서 시간영역에서 산출된 응답 가속도와, Scattering Field 효과를 고려한 상기 네 가지 경우에 대하여 산출된 기초저면에서의 입력운동을 Time domain에서 구하여(inverse transform 이용) Table 2에서 비교하였는데 자유장에서 응답 가속도값에 비하여 CASE 1과 CASE 2의 경우는 Scattering Field 효과의 영향으로 2배 정도 작음을 보여주고 있으며 CASE 3의 경우는 Inertial Interaction에 의해서, CASE 4의 경우는 구조물-지반-구조물 상호작용의 영향으로 크거나 비슷한 값을 보여줌을 알 수 있다.

유한요소를 이용하여 CASE 3에 대하여 산출된 입력운동은 1 차원 파전파 이론의 결과에 비하여도 약 20% 정도 크게 산출되었는데 (Fig. 15, Fig. 16) 이것은 바로 구조물의 질량에 의해서 일어나는 Inertial Interaction의 영향에 따른 것으로 판단되며 CASE 4에 대하여 산출된 결과는 구조물-지반-구조물 상호작용(structure-soil-structure interaction)의 영향을 보여주는 것으로 구조물이 독립으로 서있는 경우에 비해서 부분적으로 작지만 Peak Acceleration에 있어서는 약 1.5배정도 크게 산출되었다(Fig. 17).

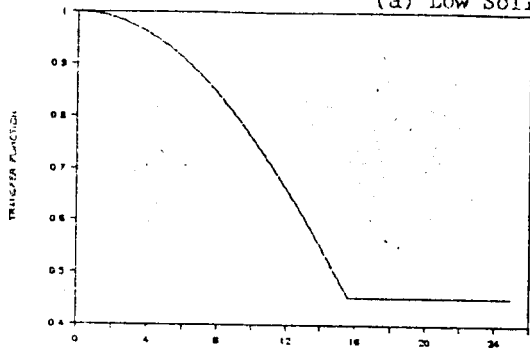


Horizontal

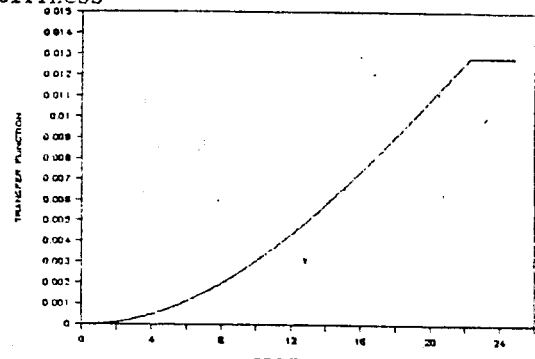


Rotational

(a) Low Soil Stiffness

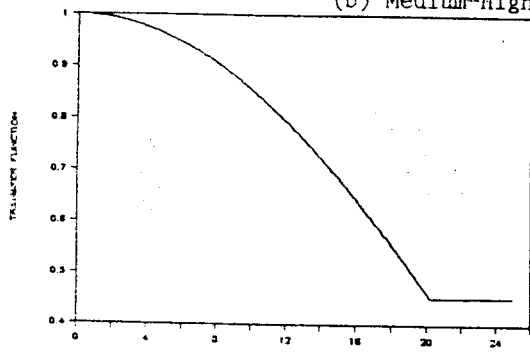


Horizontal

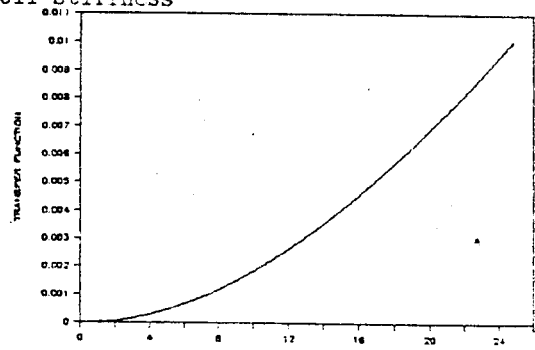


Rotational

(b) Medium-High Soil Stiffness



Horizontal



Rotational

(c) High Soil Stiffness

Fig. 9 Transfer function of sand by Elsabee-morray theory

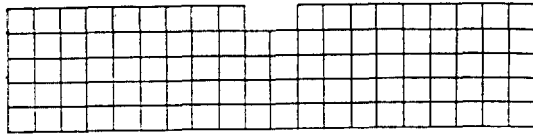


Fig. 10 Modeling for FEM analysis-CASE 1

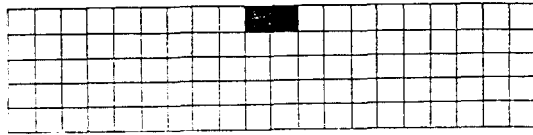


Fig. 11 Modeling for FEM analysis-CASE 2

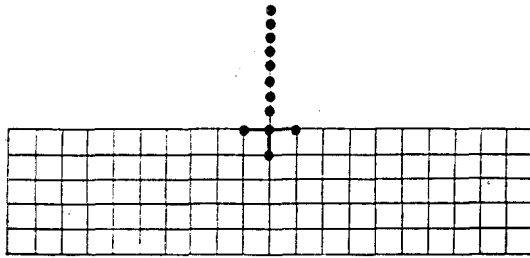


Fig. 12 Modeling for FEM analysis-CASE 3

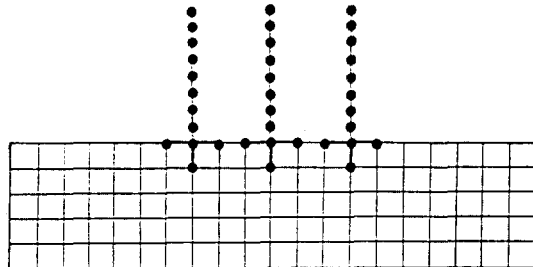


Fig. 13 Modeling for FEM analysis-CASE 4

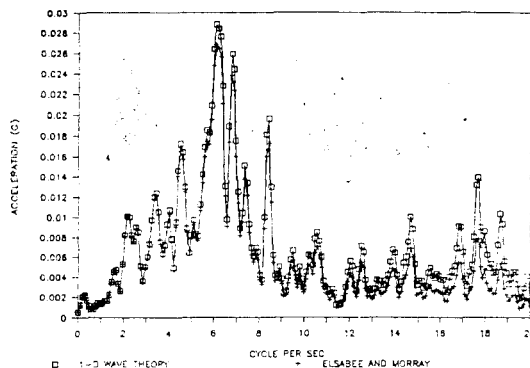


Fig. 14 Comparison of the ground input motions by 1-d wave propagation theory and elsabee-morrays theory

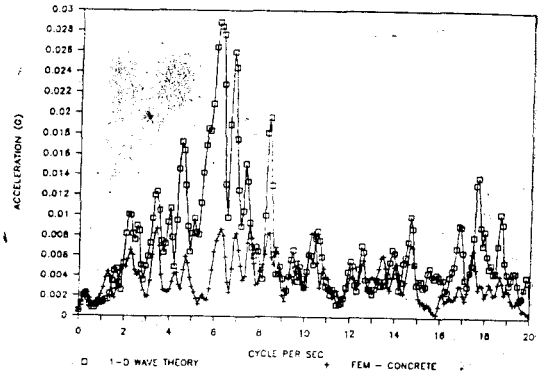


Fig. 15 Comparison of the ground input motions by 1-d wave propagation theory and FEM analysis (CASE 2)

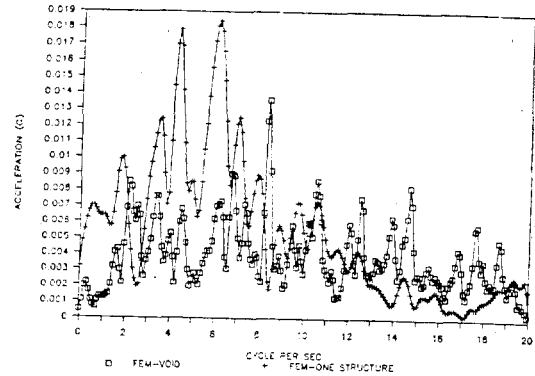


Fig. 16 Comparison of the ground input motions by FEM (CASE 1) and FEM (CASE 3)

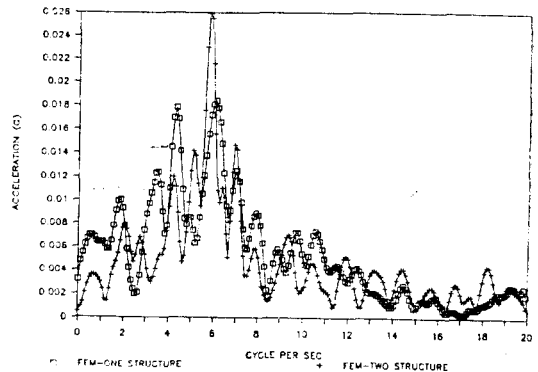


Fig. 17 Comparison of the ground input motions by FEM (CASE 3) and FEM (CASE 4)

3.2 구조물의 응답산정

각 입력운동의 산정법과 모델링 방법에 따라 구조물의 응답이 어느정도의 영향을 받는지를 평

Table 2 Comparison of the peak response accelerations in time domain obtained in free field and scattering field by FEM analysis (FLUSH)

	Free field	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
응답가속도	0.4858g	0.2078g	0.2078g	0.5606g	0.4763g

Table 3 Characteristics of containment shell

Node	Ele, No	Height(FT)	Mass(KIP)	Moment of Inertia(ET)	Area(FT ²)
1		71.75	1,161.6		
2	1	64.25	2,323.2	7,023.6	78
3	2	56.75	2,323.2	14,047.2	78
4	3	49.25	2,323.2	14,047.2	78
5	4	41.75	2,323.2	14,047.2	78
6	5	34.25	2,323.2	14,047.2	78
7	6	26.75	2,323.2	14,047.2	78
8	7	19.25	2,323.2	14,047.2	78
9	8	10.00	2,323.2	14,047.2	78
Base	9	0.00	7,956.8	79,989.6	800

$$E=3.36E07 \text{ LB/FT}^2$$

$$\beta=5\%$$

$$\text{Poisson Ratio } \nu=0.2$$

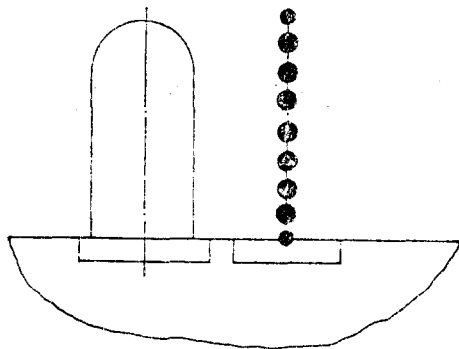


Fig. 18 Modeling of structure for FEM analysis and elastic half space analysis

가하기 위하여 앞절에서 산출된 입력운동을 이용하여 구조물의 응답을 산출하였다. 응답을 산출하기 위한 방법으로 유한요소해석과 반무한체 해석을 병행하였다. 지반은 앞절에서 입력운동의 산정을 위해서 이용한 것과 동일하며 구조물은 원전격납 용기를 이용하였다. Fig. 18과 Table 3에 구조물의 모델과 체원이 나타나있다. 유한

요소해석에 이용된 지반과 구조물의 모델링은 Fig. 12, 13에 도시되어있는 것과 동일하며 산출한 결과는 구조물 저면 전단력, 저면 모멘트와 구조물 정점에서의 가속도이다. 그리고 반무한체 해석은 자유장에서 산정된 기초깊이에서의 응답가속도(response acceleration)와 Elsabee와 Morray가 제안한 전달함수를 이용하여 지표면에서의 응답가속도로부터 기초깊이에서의 수평가속도(horizontal acceleration)와 회전가속도(rotational acceleration)를 산출하여 이용하였다. 지반과 구조물은 유한요소 해석과 동일한 것을 이용하였으며 해석을 위한 모델링은 Fig. 19에 수록된 것과 같다. 직접법(direct method)과 반무한체 해석을 이용하여 얻어진 구조물 저면 모멘트와 저면 전단력은 직접법을 이용하여 얻은 결과가 반무한체 해석으로 산출된 값보다 같은 입력운동하에서 저면 모멘트에 있어서는 (Fig. 20)는 10%, 저면 전단력에 있어서는 50% 정도 크게 (Table 4) 산출되었는데, 이것은 직접법과 반

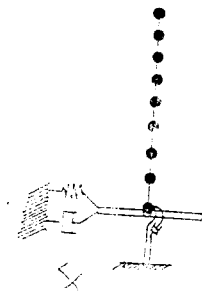


Fig. 19 Modeling for elastic half space analysis

무한체 해석에 이용된 모델링에 있어서의 오차에 따른 것으로 판단된다. 특히, CASE 3과 CASE 4에 대하여 산출된 구조물에서의 저면모멘트(Fig. 21)는 인근구조물이 존재하는 경우가 작게 산출되었는데 이는 구조물-지반-구조물 상호작용에 따른 것으로 사료된다.

Scattering Field 효과를 고려하여 그리고 1차원 파전파 이론, Elsabee-Morrays 이론을 이용하여 얻어진 입력운동을 통해서 산출된 구조물 저면 모멘트, 저면 전단력, 정점변위는 Fig. 22~Fig. 25에 수록하였는데 유한요소를 이용, Scattering Field 효과를 고려하여 얻어진 입력운동을 이용한 구조물응답이 전체적으로 1차원 파전파 이론을 이용하여 얻어진 입력운동을 이용한 구조물 응답에 비해서 저면모멘트와 정점변위에 있어서는 약 5~60%까지 작게 산출되었으며 저면 전단력에 있어서는 약 5~40%까지 작게 산출되었다.

3.3 Parametric Study

사질토의 Density를 증가시켜가면서 지반강성 증가에 따른 입력운동과 구조물 정점에서의 변위와 저면 전단력, 저면 모멘트에 대한 영향을 고찰하기 위하여 입력운동은 SHAKE를 이용하고, 구조물 응답은 반무한체 해석을 이용하여 산출하였으며 Fig. 26~Fig. 29에 그 결과를 수록하였다. Parametric Study의 결과는 지반의 강성이 증가할수록 구조물 저면 모멘트와 저면 전단력은 크게 산출되었으나 정점에서의 변위는 작게 산출되었다. 입력운동은 Loose Sand에서 Dense Sand로 갈수록 Peak Acceleration이 고주파(high frequency)쪽에서 나타남을 볼 수 있

다. 특히, Dense Sand의 경우에 있어서는 주파수영역에서 나타낸 기저암반(baseroack)에서의 지진파와 거의 같은 주파수에서 두번째 Peak Acceleration이 발생되었는데 (Fig. 7(b) 및 Fig. 26에서 8 cycles/sec 부근) 이것은 Dense Sand 경우에 있어서는 기저암반에서의 Motion에 상당히 많은 영향을 받은 것으로 판단된다.

3.4 내진규준에 따른 결과와의 비교

우리나라에서 최근에 제정된 건축구조물 내진 규준에 나와있는 구조물의 기본진동주기에 따른 응답 스펙트럼(Fig. 30)으로부터 가속도값을 산정하여 구조물에 대한 저면 전단력, 저면 모멘트를 내진 규준에 나와있는 공식을 이용하여 산출하였다. 비교 결과는 Table 4에 나타나 있음

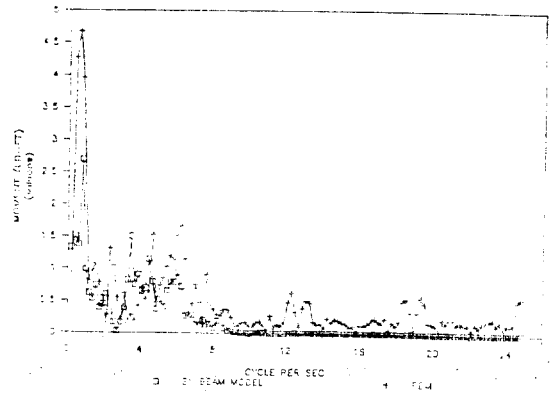


Fig. 20 Comparison of the base moment of structure by direct method and elastic half space analysis

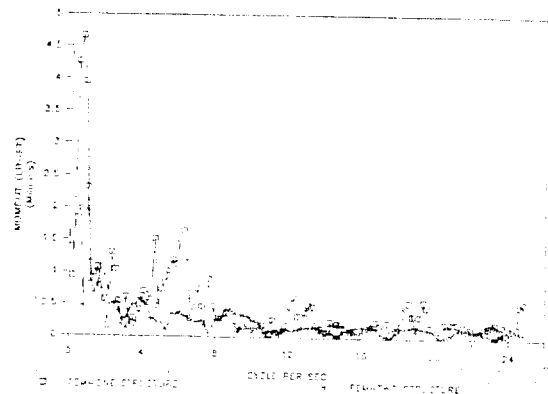


Fig. 21 Comparison of the base moment of structure FEM (CASE 3) and FEM (CASE 4)

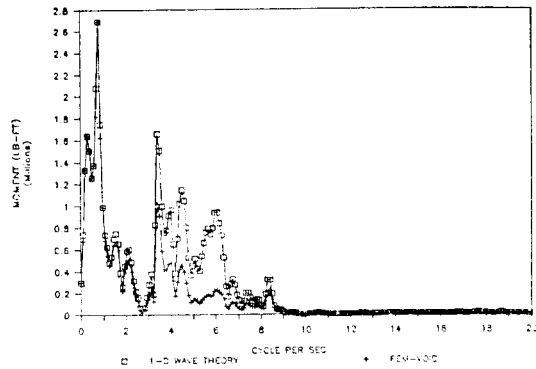


Fig. 22 Comparison of the base moments of structure obtained by using the ground input motions with and without considering the effect of scattering field

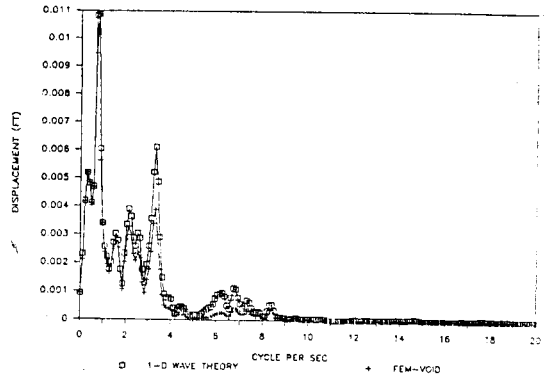


Fig. 25 Comparison of the top displacements of structure obtained by using the ground input motions with and without considering the effect of scattering field

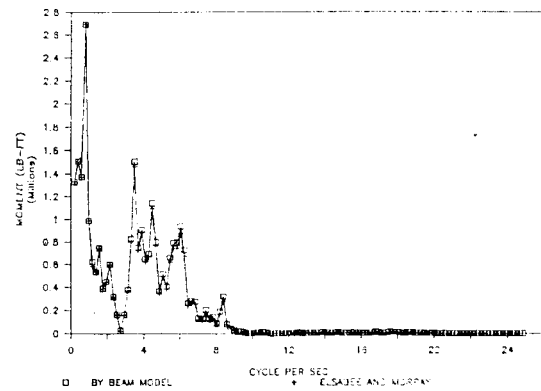


Fig. 23 Comparison of the base moments of structure obtained by using the ground input motions with and without considering the effect of scattering field

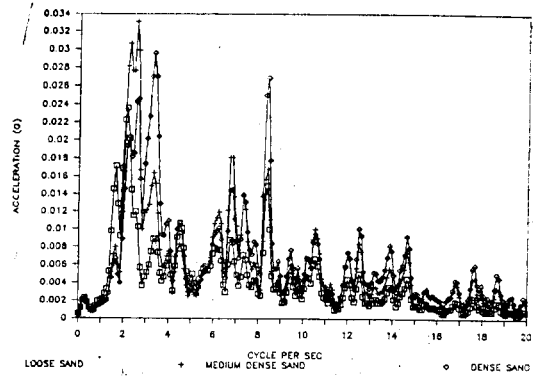


Fig. 26 Effect of the increase of the soil stiffness on the ground input motions

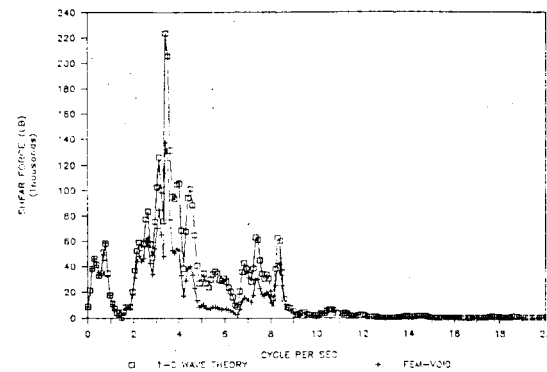


Fig. 24 Comparison of the shear forces of structure obtained by using the ground input motions with and without considering the effect of scattering field

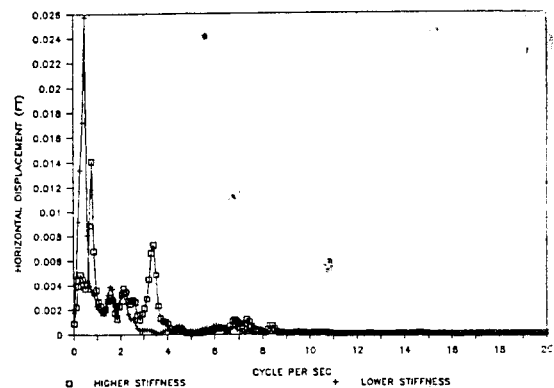


Fig. 27 Effect of the increase of soil stiffness on the top displacements of structure

Table 4 Comparison of the responses of structure

	FEM(CASE 3)	반무한체 해석	내진규준
Moment	7.4E6(LB-FT)	6.9E6(LB-FT)	1.7E6(LB-FT)
Shearforce	6.52E5(LB)	4.53E5(LB)	4.19E5(LB)

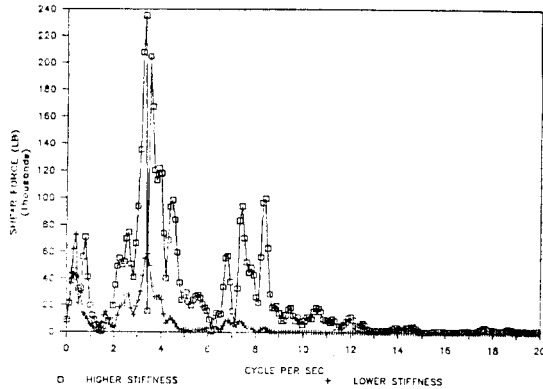


Fig. 28 Effect of the increase of soil stiffness on the base shear force of structure

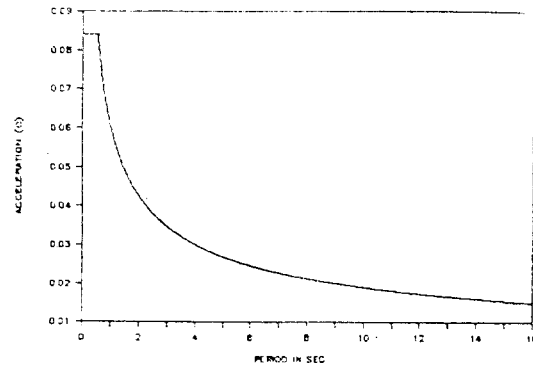


Fig. 30 Response spectra using the building code for seismic analysis in Korea.

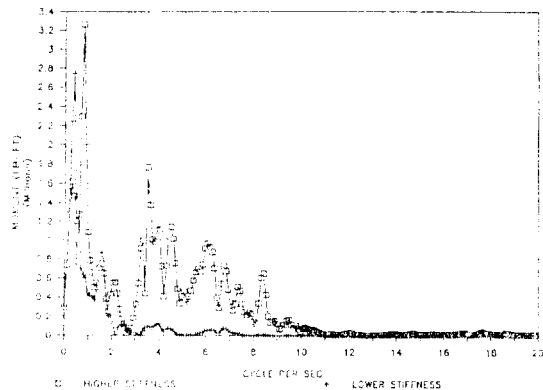


Fig. 29 Effect of the increase of soil stiffness on the base moment of structure

며 전체적으로 내진규준에 따른 결과가 작게 산출되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 1 차원 파전파이론, Elsabee-Morray의 이론, 유한요소이론을 이용하여 기초저면에서 입력운동을 산정하여 비교 검토하고 이 입력운동을 이용하여 구조물의 응답을 산출

하였다. 이상에서 얻어진 입력운동과 구조물의 응답결과, 그리고 직접법과 반무한체 해석을 이용하여 얻어진 구조물의 응답산정 결과에 대하여 다음과 같은 결론을 유출하였다.

1. 1 차원 파전파 이론을 이용한 입력운동의 산정결과는 유한요소를 이용한 기초저면에서의 응답결과와는 많은 차이를 보여 구조물이 세워져 있지 않은 경우의 FEM 해석결과(CASE 1, CASE 2)와 여러 frequency 에 따라 2~3 배의 차이를 보였는데 이것은 Scattering Field 효과에 기인한 것으로 판단되어 이 효과를 무시할 수 없는 것으로 사료된다.

2. Elsabee와 Morray의 이론에 의한 입력운동의 산정은 1 차원 파전파 이론에 의한 결과와 비슷한 결과를 산출하며 지반의 강성은 Elsabee와 Morray의 이론에 따른 기초저면에서의 회전가속도(rotational acceleration)에 많은 영향을 끼쳐 결과적으로 입력운동의 산정결과에 많은 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

3. 산출된 입력운동을 이용하여 얻어진 구조물 응답은 Scattering Field 효과를 고려하여 얻어진 입력운동을 이용한 결과가 1 차원 파전파

이론, Elsabee 와 Morray 의 이론에 의해서 산출된 입력운동을 이용한 결과보다 약간 작게 산출되었다.

4. 직접법과 반무한체 해석을 이용하여 얻어진 구조물 응답결과는 직접법을 이용한 결과가 반무한체 해석에 의한 결과보다 크게 산출되었는데 이것은 두해석에 이용된 모델링의 오차에 기인한 것으로 사료된다.

5. 인근 구조물이 존재하는 경우에 있어서의 기초저면에서의 입력운동의 산정결과와 구조물 응답결과는 구조물이 독립으로 서있는 경우에 비해서 작게 산출되었는데 이러한 현상은 구조물-지반-구조물 상호작용에 기인한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 1987년도 목적기초 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 사의를 표한다.

참고 문헌

1. 김원배, "구조물의 동적해석을 위한 한반도의 인공지진과 작성", 고려대학교, 박사학위논문, 1987.
2. 이명재, "A Study of Soil Damping as Applied in Seismic Soil-Structure Interaction Analysis," 대우건설기술보, 대우 Engineering, 1988, Vol. 5, No. 2, pp. 57~78.
3. Das, B.M. (1982), "Fundamentals of Soil Dynamics;" Elsevier, New York, USA.
4. Elsabee, F. and Morray, J.P., "Dynamic Behavior of Embedded Foundations," Research Report R77-33, Dept. of Civil Engineering, M.I.T., 1977.
5. Idriss, I.M., Kausel, E., Kennedy, R.P., Lysmer, J., and Whitman, R.V.(1979), "Analysis for Soil-Structure Interaction Effects for Nuclear Power Plants," Report by the Ad Hoc Group on Soil-Structure Interaction of the Committee on Nuclear Structures and Materials of the Structural Division of ASCE, Technical Publications, ASCE, New York, USA.
6. Idriss, I.M. and Seed, H.B.(1968), "Seismic Response of Horizontal Soil Layers," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 94, SM4, July, pp.1003~1031.
7. Lysmer, J., Seed, H.B., Udaka, T. and Hwang, R.N.(1975), "Efficient Finite Element Analysis of Seismic Structure-Soil-Structure Interaction," Proceedings, Second ASCE Specialty Conference on Structural Design of Nuclear Plant Facilities, New Orleans, December.
8. Lysmer, J., Udaka, T., Tsai, C-F., and Seed, H.B. (1975), "FLUSH-A Computer Program for Approximate 3-D Analysis of Soil-Structure Interaction Problems," Earthquake Engineering Research Center, University of California, Report No. EERC 75~30, November.
9. Mansour, G.Z. and Chapel, F., "Frequency-Independent Impedance of Soil-Structure Systems in Horizontal and Rocking Modes," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1983, Vol. 11, pp. 523~540.
10. Novak, M. and Hifnawy, L.E., "Effect of Soil-Structure Interaction on Damping of Structures," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1983, Vol. 11, pp. 595~621.
11. Schnabel, P.B., Lysmer, J., and Seed, H.B. (1972), "SHAKE-A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites," Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 72~12.
12. Veletsos, A.S. and Wei, Y.T., "Lateral and Rocking Vibration of Footings," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, SM9, September, 1971, pp.1227~1248.
13. Wolf, J.P. (1985), "Dynamic Soil-Structure Interaction", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
14. Wong, H.L., and Luco, J.E., "Dynamic Interaction Between Rigid Foundations in a Layered Half-Space," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1986, Vol. 5, No. 3, pp.149~158.

(접수일자 1989. 5. 8)