

역사지진 및 인공지진의 물리적특성에 관한 연구

(Study on Physical Characteristics of Historical and Artificial Ground Acceleration)

전 환석¹⁾ 이 대형²⁾ 이 강균³⁾ 정 영수⁴⁾
Cheon Hwan Seok Lee Dae Hyoung Lee Kang Kyun Chung Young Soo

ABSTRACT

Because of the continual occurrence of minor and moderate earthquake in Korean peninsula, it is generally considered that Korean is not located in safe region against probable earthquake any more, even though being recognized as a safe country in earthquake. It is in particular noted that nowadays there has been much concern about undesirable disaster due to unexpected earthquake since the disaster of 1995 Kobe earthquake.

Thus, the objective of this research is to develop appropriate design spectrum which could be practicably used in seismic design of important structures taking into consideration of local physical characteristics. Particularly, we have to keep in mind the lessons from 1985 Mexico earthquake which had disregarded deep research on local ground conditions, being a possible magnification phenomena of ground motions in weak soil layer. Various spectra has been described based on the analysis of historical earthquakes, and appropriate design spectrum has been proposed herein.

KeyWords : Design Response Spectrum, Period-Frequency Distribution, Probability Density Distribution, Artificial Ground Acceleration

1. 서론

지진에 대하여 대체적으로 안전지대라고 생각되었던 우리나라에서도 1978년 10월 7일에 발생한 홍성지진과 1982년 2월 14일에 발생한 사리원지진등의 연이은 중소규모의 지진발생으로 한반도도 지진에 대해서 안전한 지역이 아니라는 인식이 일어나고 있다. 90년 이후 한반도와 인근지역에서의 지진활동이 점차적으로 강해지고 있을 뿐만 아니라 그 발생빈도도 점차 증가하고 있는 추세로 판단된다. 따라서 우리나라에서도 시급하게 우리의 지진특성에 대한 연구를 통하여 지진에 대한 대비를 서둘러야 할 것이며, 지진의 연약지반에 대한 증폭현상을 국부적인 현상으로 가볍게 생각하여 심층적인 연구와 분석을 도외시한 결과인 멕시코지진에서의 교훈을 유념해야 할 것이다. 본 연구에서는 현재 설계에 많이 이용되고 있는 설계 지진파의 물리적 특성의 비교연구, 국내지진파의 분석, 그리고 이에 기초한 새로운 인공지진파의 산출과 물리적특성을 비교·연구하고자 한다.

-
- 1) 중앙대학교 토목공학과 석사과정
 - 2) 정회원, 중앙대학원 토목공학과 박사과정
 - 3) 중앙대학교 토목공학과 석사과정
 - 4) 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

2. 지진파의 물리적 특성

2.1 주기-빈도 스펙트럼

주기-빈도 스펙트럼은 지진파가 가지고 있는 탁월주기(Dominant Period)를 알아보려고 하며 이러한 탁월주기를 구함으로서 구조물에 미치는 영향을 예측하고자 한다. 본 논문에서는 주기-빈도 스펙트럼의 해석에 Zero-Crossing Method 및 Peak Method를 이용하였다.

2.1.1 Zero-Crossing Method

시간함수로부터 주기를 구하기 위하여 가장 일반적인 방법으로서 곡선이 Zero선 즉, 횡축을 자르는 점을 취하는 방법이다. 이와같이 곡선이 Zero선을 지나는 점들의 시간간격을 측정하여 이를 2배하여 주기를 구한다. El Centro지진파의 NS성분에 대한 해석결과는 그림(2.1)과 같다. 또한 종합적인 해석결과는 표 2.1에 나타낸 바와 같다.

2.1.2 Peak Method

지진파의 시간이력은 골과골 산과산사이의 시간간격도 역시 파의 주기를 나타낸다. 따라서 피크(Peak)와 피크(Peak)사이의 시간과 이들이 각 계급간격 사이에 들어가는 회수를 세어서 파가 복잡한 형태일지라도 통계적으로 파가 갖는 주기특성을 검출하는 방법이다.

월성지진파(지반)에 대한 해석결과는 다음 그림(2.2)와 같다.

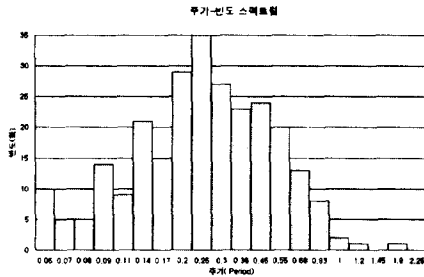


그림 2.1 Elcentro(NS성분)지진파의 Zero-Crossing법에 의한 주기-빈도 스펙트럼

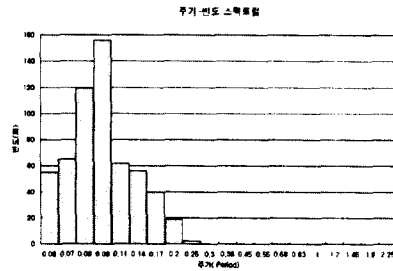


그림 2.2 월성지진파(지반)의 Peak법에 의한 주기-빈도 스펙트럼

표 2.1 각 지진파에 대한 탁월주기 해석결과

지진파 종류	해석방법	탁월주기	
		Zero-Crossing Method	Peak Method
Elcentro	NS	0.25	0.14
	EW	0.25	0.17
Taft	NS	0.17	0.17
	EW	0.25	0.2
Hachinohe	NS	0.68	0.36
	EW	0.3	0.36
Kobe	NS	0.36	0.25
월성	지반	0.09	0.09
	원자로	0.09	0.09
양양	덕경리	0.055	0.055
	매곡리	0.135	0.09
학계리	거제면	0.055	0.055
	김해	0.055	0.055

2.1.3 불규칙 지수(Irregularity Index)

지진파가 상당히 불규칙한 경우 주기를 검출하는데 빠뜨릴수 있으며 따라서 파의 불규칙성을 정량적으로 나타내고자 한다. 이를 나타내기 위해서 불규칙 지수(Irregularity Index), ϵ ,을 사용하며 다음 식(2.1)과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{N_0}{N_m}\right)^2} \quad (2.1)$$

여기서, N_0 = 지진파가 정의 경사를 갖고 Zero선을 지나치는 점의 수

N_m = 지진파형의 극대점

표 2.2 지진파의 불규칙지수

지진파	El Centro		Taft		Hachinohe		Kobe	월성		양양		학계리	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	지반	원자로	덕평리	매곡리	거계면	김해
불규칙 지수	0.793	0.847	0.853	0.856	0.906	0.908	0.808	0.655	0.828	0.279	0.778	0.000	0.000

2.2 확률밀도 스펙트럼

지진파에는 크기에 따라 여러 가지 진폭이 있다. 어떤것에는 큰 진폭의 파가 반복적으로 대단히 많이 있는 것이 있는가 하면 또 다른 지진파에는 극히 진폭이 작은 지진파가 반복이 되는 경우도 있다. 이와 같이 지진파에 포함되어 있는 크고 작은 진폭의 분포가 구조물에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 확률밀도함수를 분석해야 한다. 확률밀도함수를 구하고 이에 따른 평균 및 표준편차를 구하였다. 이에 대한 해석결과는 표 2.3에 나타내었으며 국내·외 지진파의 확률밀도스펙트럼은 다음 그림(2.3)~(2.4)와 같다.

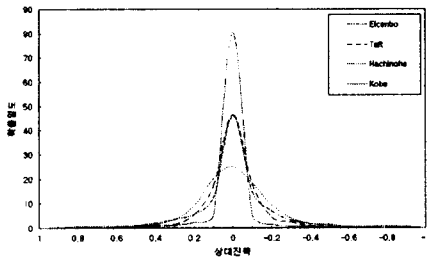


그림 2.3 국외지진파의 확률밀도 스펙트럼

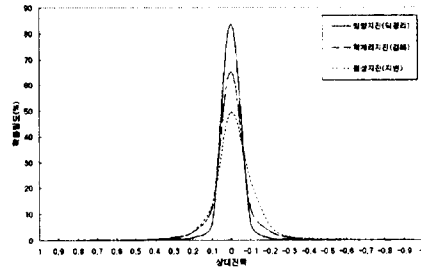


그림 2.4 국내지진파의 확률밀도 스펙트럼

표 2.3 지진파의 평균 및 표준편차

지진파 종류	해석방법	Mean	Standard Deviation
		Elcentro	NS
	EW	-0.001	0.185
Taft	NS	0.0	0.164
	EW	0.0	0.148
Hachinohe	NS	0.0	0.176
	EW	0.0	0.232
Kobe	NS	0.0	0.118
월성	지반	-0.021	0.130
	원자로	-0.001	0.155
양양	덕평리	0.000	0.070
	매곡리	0.000	0.094
학계리	거계면	0.000	0.146
	김해	0.000	0.113

2.3 Fourier 스펙트럼

지진파의 성분을 분해하여 어떠한 성분과의 진폭이 크며 어느 성분과의 진폭이 작은가 하는 문제는 지진파의 성질로서 대단히 중요하다. 이러한 Fourier스펙트럼의 해석은 지진파의 특성을 이해하는데 가장 중요한 것 중의 하나로서 구조물의 내진설계·해석을 위한 중요한 설계자료이다. Fourier스펙트럼의 중요한 의의는 시간이력에 포함되는 진동수성분의 검출과 시간영역에서 주파수영역으로의 변환이다. 그림(2.5), (2.6)에는 Kobe지진파와 월성지진기록에 대한 해석결과이다.

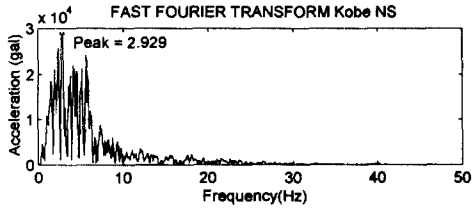


그림 2.5 Kobe지진파의 Fourier Transform결과

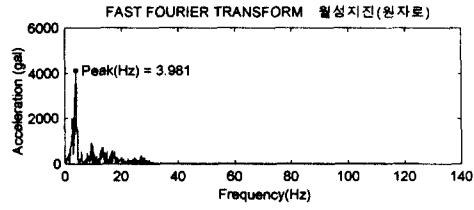


그림 2.6 월성지진파의 Fourier Transform결과

표 2.4 각 지진파에 대한 Fourier Transform결과

지진파	El Centro		Taft		Hachinohe		Kobe		월성		양양		학계리	
	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	지반 원자로	덕평리	매곡리	거제면	김해		
탁월 진동수(Hz)	2.914	4.263	2.758	5.956	0.361	0.889	2.929	3.102	3.981	38.05	7.775	20.86	32.3	

2.4 응답스펙트럼

아래의 $S_d(\omega_n, \xi)$, $S_v(\omega_n, \xi)$ 와 $S_a(\omega_n, \xi)$ 를 각각 가속도, 속도, 변위 응답스펙트럼이라 한다.

$$S_a(\omega_n, \xi) = \max | \ddot{x}^i(t) | = \omega_n^2 S_d(\omega_n, \xi) \quad (2.1)$$

$$S_v(\omega_n, \xi) = \max | \dot{x}(t, \omega_n, \xi) | \quad (2.2)$$

$$S_d(\omega_n, \xi) = \max | x(t) | = \frac{1}{\omega_n} S_v(\omega_n, \xi) \quad (2.3)$$

Kobe 지진파(NS성분)에 대한 응답 스펙트럼의 결과는 다음 그림(2.7)~(2.9)와 같다.

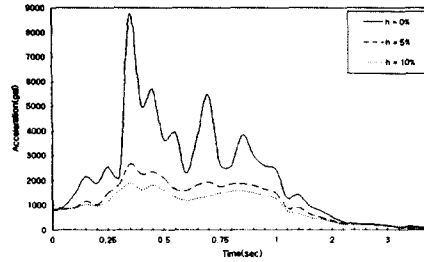


그림 2.7 Kobe지진파(NS성분)의 가속도 응답 스펙트럼

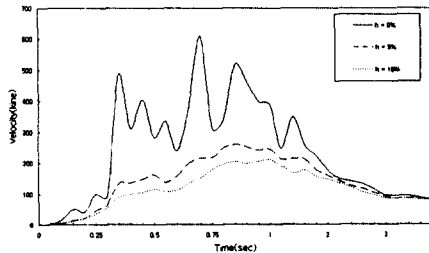


그림 2.8 Kobe지진파(NS성분)의 속도 응답 스펙트럼

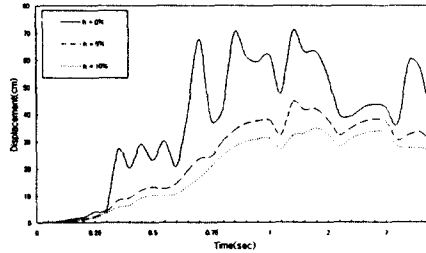


그림 2.9 Kobe지진파(NS성분)의 변위 응답 스펙트럼

3. 인공지진파의 물리적 특성

본 연구에서는 국내지진기록으로 월성지진파의 해석결과를 토대로 인공지진을 도출하였다. 인공지진파의 산출을 위한 조건은 PGA(Peak Ground Acceleration)는 다른지진으로의 변환이나 비교가 용이하도록 1.0g을 사용하였다. 본 연구에서는 매그니튜드를 7.0을 사용하였다. 지진파의 포락함수는 Compound 함수를 이용하였으며 탁월주기는 25(RAD/sec)를 사용하였으며 Upper cut-off Frequency는 300(RAD/sec)를 사용하였다. 감쇠비는 암반적층토로 가정하여 0.3을 사용하였다. 그림 3.1은 파워스펙트럼밀도 함수인 Kanai-Tajimi Spectrum 함수를 나타낸다. 다음 그림 3.2은 인공지진파의 시간이력을 나타내고 있다. 또한 이러한 가속도 시간이력에 대한 주기-빈도 스펙트럼해석, 확률밀도 스펙트럼, Fourier Spectrum 해석의 결과 및 응답스펙트럼은 다음 그림 3.3 ~ 3.8에 나타내었다.

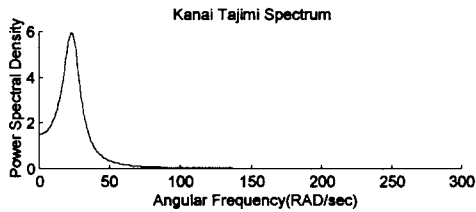


그림 3.1 Kanai Tajimi Spectrum

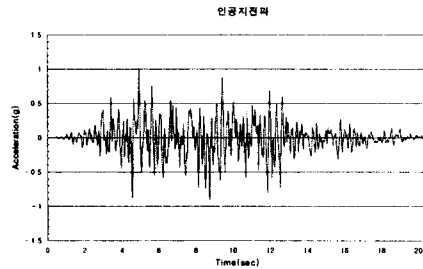


그림 3.2 인공지진파의 가속도 시간이력

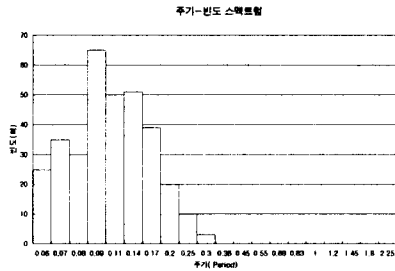


그림 3.3 인공지진파의 주기-빈도 스펙트럼(Peak Method)

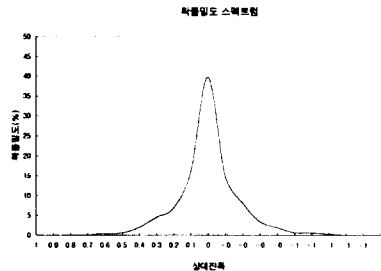


그림 3.4 인공지진파의 확률밀도 스펙트럼

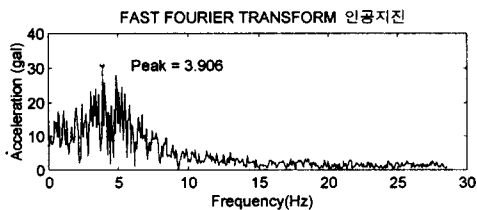


그림 3.5 인공지진파의 Fourier Transform 결과

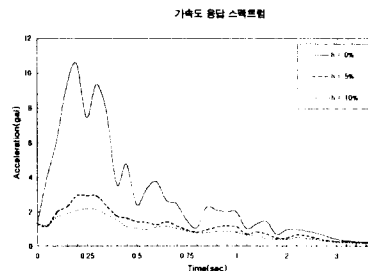


그림 3.6 인공지진파의 가속도 응답스펙트럼

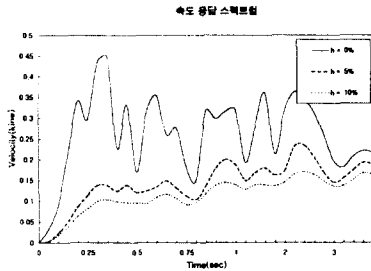


그림 3.7 인공지진파의 속도 응답 스펙트럼

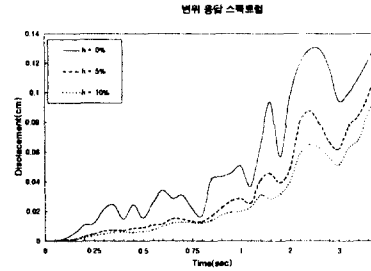


그림 3.8 인공지진파의 변위 응답 스펙트럼

4. 결론

현재 구조해석에 많이 이용되는 지진파를 대상으로 지진파의 물리적특성을 분석하였으며 이러한 지진파와 국내지진기록과의 차이를 비교하였다. 이 해석의 결과를 근거로하여 인공지진파를 도출하였다.

인공지진파는 월성지진파의 해석결과를 이용하여 인공지진파의 입력데이터를 사용하였으며 인공지진파의 물리적 특성은 주기-빈도 스펙트럼해석의 결과 0.09sec로서 월성기록과 일치하였으며 확률밀도 해석의 결과는 월성기록이 약 50%정도이며 인공지진은 약 42%를 나타내고 있다. 하지만 스펙트럼해석의 결과는 Kanai-Tajimi Spectrum과 거의 유사한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 월성기록의 주파수가 3.981Hz이나 인공지진의 경우에도 3.906로 차이가 약간 나타났다. 이러한 차이는 인공지진의 도출과정에서 난수의 발생에 따른 필연적인 결과라 사료된다.

위의 해석결과에서 나타낸바와 같이 국내지진기록과 설계용 지진파의 물리적 특성이 상당히 차이를 보이고 있다. 따라서 시급히 국내의 조건에 적합한 설계용 지진파를 측정하여 데이터베이스(Data Base)화 하여야 할 것이다. 또한 같은 지진파라 할지라도 측정지역에 따라 다른 지진파가 도달된다는 사실이 증명이 되었다. 따라서 주요구조물의 건설현장에 적합한 설계용지진을 구조해석에 사용해야 할 것이다. 국내 지진기록이 아직 미흡한 상태이므로 본 논문에서 제안한 인공지진파는 이러한 문제점을 해결하는데 적절하리라 사료된다.

5. 참고문헌

1. 전형식, "내진설계연구", 건설교통부, 1996
2. CHOPRA, "Dynamics of Structures", PrenticeHall, 1997
3. MARIO PAZ, "Structural Dynamics", VNR, 1992
4. 한국지반공학회, "진동 및 내진설계", 구미서관, 1997
5. 大崎順彦, "新・地震動のスペクトル解析入門", 鹿島出版會, 1994
6. 理論地震動研究會, "地震動 その合成と波形處理", 鹿島出版會, 1995
7. Newmark, Rosenblueth, "Fundamental of Earthquake Engineering", PrenticeHall, 1971
8. 한국전산구조공학회, "구조물의 내진설계", 한국전산구조공학회 기술강습회 자료집, 교재15-1, 1997
9. Y.S.Chung, M Shinozuka, C Meyer, "SARCF User's guide seismic Analysis of reinforced concrete frames", NCEER, NewYork, 1988
10. Steven L. Kramer, "Geotechnical Earthquake Engineering", PrenticeHall, 1996