

경상분지내 미소지진의 공학적 특성 Engineering Characteristics of Micro Earthquake Records Occurred in Kyungsang Basin

박 정 옥* 최 인 길** 서 정 문***
Park, Jeong-Ok Choi, In-Kil Seo, Jeong-Moon

ABSTRACTS

Small earthquake records with magnitude 2.7 ~ 4.8 recorded in Kyungsang Basin during 1995 ~ 1997 were analysed. Total of 87 records consisted of 16 events instrumented at 11 stations. Mean dominant period at each station, mean zero period acceleration of each component, and the acceleration response spectra were analysed. Spectral value increases as magnitude increases, and the predominant frequency band expands to low frequency zone as magnitude increases.

1. 서론

우리나라에서는 원자력발전소의 설계시 우리나라 고유의 표준응답 스펙트럼이나 부지고유 스펙트럼이 없음으로 인하여 US NRC의 표준응답 스펙트럼을 사용하고 있다. 그러나 US NRC에서 제시하고 있는 표준응답 스펙트럼은 주로 미국 서부지역에서 발생한 강진기록을 토대로 작성된 스펙트럼이다. 최근 지진학의 발달로 미국 서부와 동부의 지진원 및 지진파 전파특성이 매우 상이함이 밝혀졌으며, 이에 따라 표준응답 스펙트럼의 변경이 예상되고 있다.

우리나라의 경우 주요 구조물 및 기기의 내진설계 및 내진안전성 평가를 위해서는 우리나라의 지진, 지질환경 특성을 고려한 지반응답 스펙트럼의 개발이 절실히 요구되고 있다. 그러나 강진 기록이 전무하고, 지진공학적으로 분석이 가능한 미소지진의 관측도 90년대 후반에 들어 본격적으로 이루어짐에 따라 표준응답 스펙트럼 개발에 많은 어려움이 상존하고 있다.

분석 가능한 강진기록이 없을 경우 내진설계를 위한 강진 특성은 이미 많은 지진학자에 의해 그 타당성이 입증된 추계학적인 인공지진파 작성기법을 이용하여 도출될 수 있으며, 이때 필요한 변수값들은 미소지진 기록에 대한 분석을 통하여 얻을 수 있다.

본 연구에서는 1995년부터 1997년까지 국내 경상분지에서 계속한 한국자원연구소의 미소지진 기록에 대한 공학적 특성을 분석하였다.

* 한국원자력연구소 인턴연구원

* 한국원자력연구소 선임연구원, 정회원

** 한국원자력연구소 책임연구원, 정회원

2. 분석대상 지진의 선정

본 연구에서는 한국자원연구소에서 제공된 관측 데이터를 사용하였다. 한국자원연구소는 경상 분지의 지진활동관측을 위해 총 11개소의 디지털 관측망을 구성하고 1998년 6월 말 현재 9개의 관측소가 설치되어 운영 중에 있다[1,2]. 현재 운영중인 관측소의 위치는 그림 1에 나타내었다. 이들 관측소의 기반조건은 화강암이 주류를 이루고 있으면 일부 지역의 경우 응회암(학계리, 방방골)이나 편마암(구례) 등으로 구성되어 있다.

1995년부터 1997년 사이에 국내(경상분지)에서 계측한 지진 데이터 중 비교적 데이터의 신뢰도가 높고 규모가 큰 지진자료를 이용하였다. 총 16개의 지진을 선택했고(표 1 참조), 관측소별로는 87개이며, 방향별로는 총 261개의 지진파를 분석하였다. 또한 각 지진의 진앙분포를 그림 2에 나타내었다.

본 연구에서 사용된 지진파는 규모 2.7 ~ 4.8의 범위에 있으며, 자원연구소에서 규모 결정시 사용한 식은 최대 수직 속도진폭을 직접 사용한 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$\text{Velocity-amplitude formula : } M = \log A_z + 1.64 \log \Delta + \alpha$$

여기서, A_z 는 최대수직속도($m_{\text{kin}} = 10^{-5} \text{ m/sec}$)을 나타내며, Δ 와 α 는 각각 진앙거리(km) 및 Coefficient of seismograph(0.22 : 0.22 ~ 0.44)을 나타낸다.

표 1. 관측된 지진 데이터의 내용

EVENT	Origin Time		Epicenter		Mag.	STA갯수
	Y/M/D	H/M/S	Lat.	Long.		
1	95/06/19	18/09/25.54	36-14.49	128-15.07	3.8	4
2	95/10/06	21/07/28.70	37-44.65	129-38.11	4.3	3
3	96/01/24	05/09/51.07	38-05.00	129-33.65	4.8	7
4	96/02/27	04/39/33.98	35-57.00	129-29.55	3.0	6
5	96/04/14	05/22/11.05	35-51.90	127-53.58	3.9	7
6	96/05/13	00/49/27.12	35-50.00	130-21.90	3.9	4
7	96/05/16	11/05/43.27	35-18.50	129-06.91	3.0	4
8	96/08/14	18/10/03.06	36-41.00	128-01.75	3.5	8
9	96/10/16	04/45/30.40	36-12.43	128-18.83	3.8	2
10	96/11/10	21/33/19.17	36-47.16	125-24.00	4.2	3
11	97/01/15	05/34/04.61	38-50.16	128-25.93	3.6	10
12	97/05/09	21/40/07.11	35-17.64	126-19.45	3.8	4
13	97/05/22	07/52/37.52	36-04.12	127-06.30	3.9	8
14	97/06/26	03/50/23.19	35-48.09	129-14.20	4.3	3
15	97/10/11	19/50/28.76	35-55.05	128-50.69	2.7	8
16	97/10/18	19/35/31.31	37-13.11	128-41.35	3.0	6
Total						87

3. 지진자료의 특성 분석

3.1 지진파의 성분 특성

그림 4는 표 1의 지진 데이터를 규모별로 분류한 것으로 대부분 규모 3~5의 지진으로 구성되어 있으며 규모 4 정도의 지진이 주류를 이루고 있다. 그림 5는 관측소별 진앙거리 분포를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 진앙거리는 150km 이상이 주를 이루고 있다. 그림 6은 관측된 지진의 진원심도 분포를 나타낸 것이다. 진원의 심도는 12km를 중심으로 비교적 등분포를 이루고 있다. 그림 7~12는 관측된 데이터의 최대지반속도를 각 방향별로 나타낸 것이다.

각각의 지진 데이터에 대하여 Zero-Crossing법 및 Peak법에 의한 주기 분석을 수행하였다[3]. 각 지진별 주기는 0.05~0.25 sec(4~25 Hz)의 범위에 있는 것으로 나타났으며 Event 3의 지진이 가장 장주기 특성을 나타내었다. Zero-Crossing법에 의한 Event 3의 주기는 0.24 sec (UD), 0.20 sec (NS), 0.22 sec (EW)로 나타났으며, Peak법에 의한 주기는 0.13 sec (UD), 0.08 sec (NS), 0.13 sec (EW)로 각각 나타났다. 그림 3에는 관측소별 지진 데이터의 평균 주기를 성분별로 나타내었다. 관측소별 지진기록의 주기특성을 보면 BBK(방방골)에서 관측된 기록이 비교적 장주기 특성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 동일한 지진에 대하여 지진파의 전파특성과 관측점의 지반 특성에 따라 지진파의 특성이 변화됨을 잘 보여주고 있다.

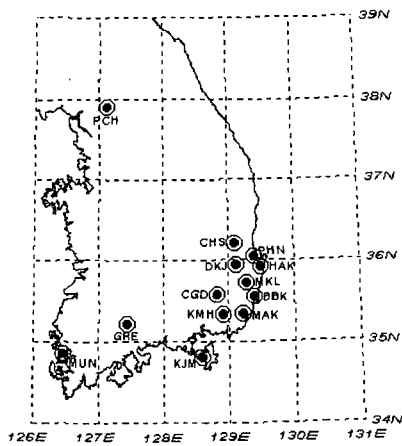


그림 1. 지진 관측소 분포

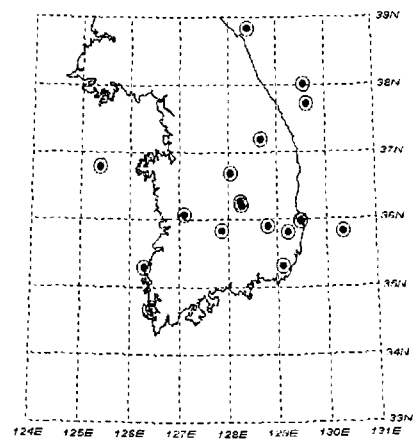
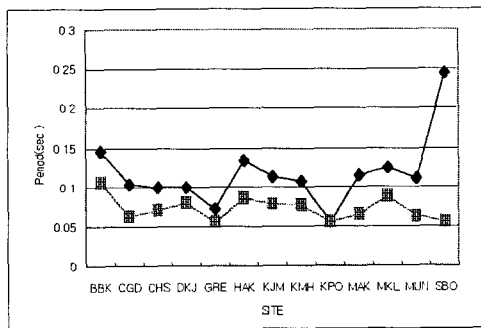
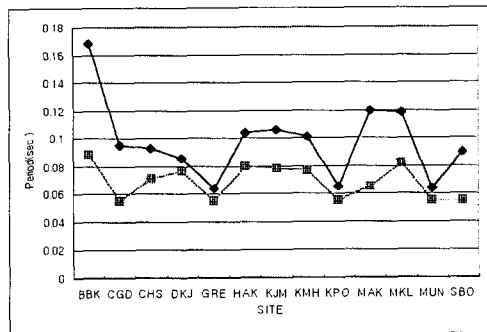


그림 2. 분석대상 지진의 진앙위치

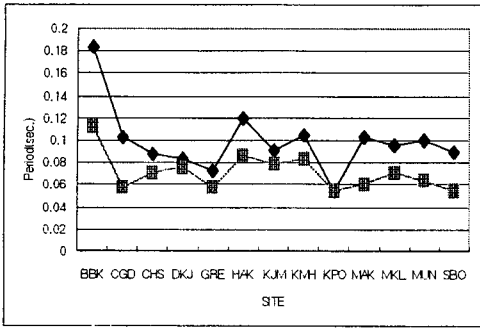


(a) UD 성분



(b) NS 성분

그림 3. 분석대상 지진의 관측소별 평균주기 분포 (◆:Zero-crossing, ■:Peak)



(c) EW 방향
그림 3. 계속

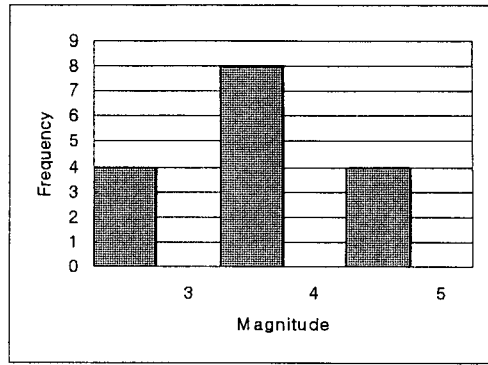


그림 4. 규모 분포

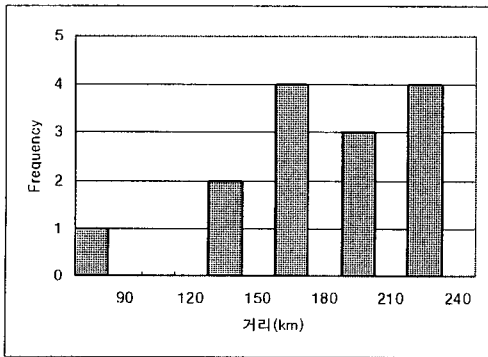


그림 5. STA별 진앙거리 분포

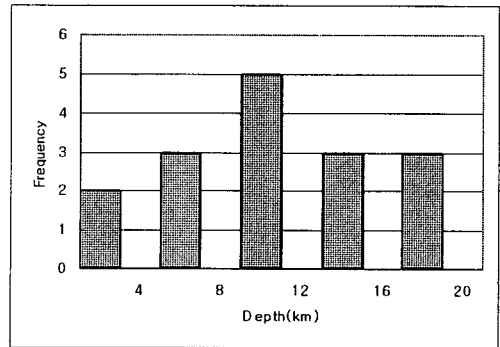


그림 6. 심도 분포

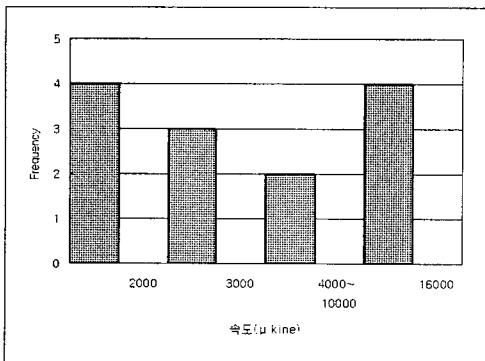


그림 7. 최대지반속도분포①(STA별,UD성분)

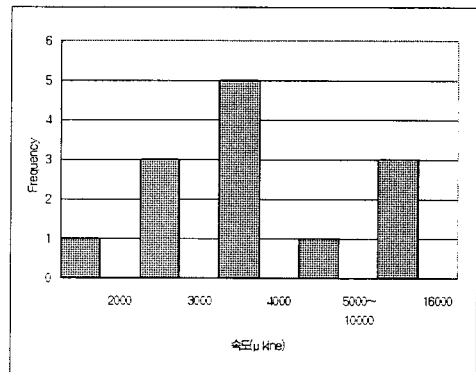


그림 8. 최대지반속도분포②(STA별,NS성분)

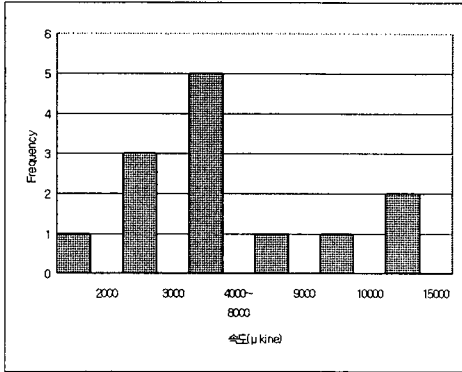


그림 9. 최대지반속도분포③(STA별,EW성분)

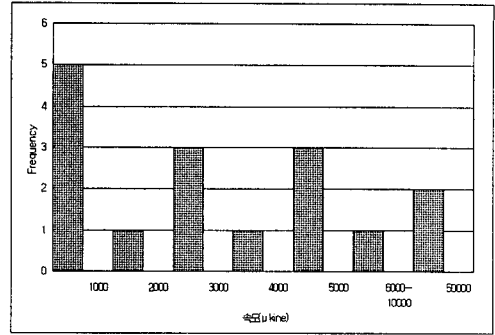


그림 10. 최대지반속도분포④(EVENT별,UD성분)

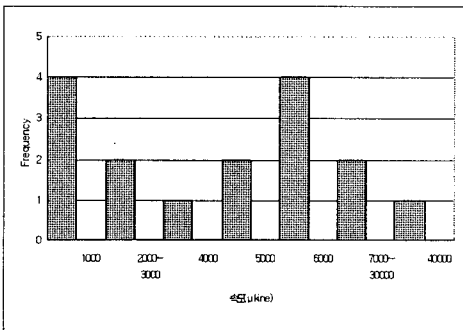


그림 11. 최대지반속도분포⑤(EVENT별,NS성분)

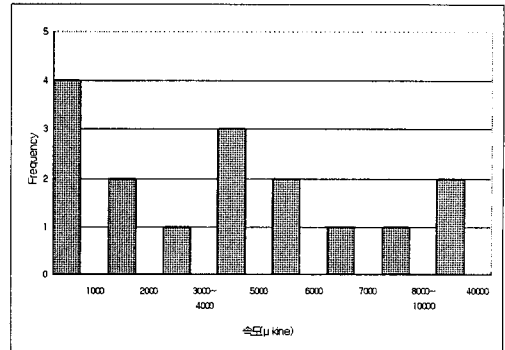


그림 12. 최대지반속도분포⑥(EVENT별,EW성분)

3.2 응답스펙트럼

불규칙한 지진동의 특성을 파악하거나, 미리 구조물의 응답량을 예측하기 위해 응답 스펙트럼(Response Spectrum)이 요구된다. 한국자원연구소에서 계측한 지진기록은 속도성분으로 작성되어 있다. 따라서 각각의 속도기록을 미분 및 적분을 하여 가속도 및 변위 시간이력을 작성하였으며, 작성된 가속도 시간이력을 이용하여 지반가속도 응답스펙트럼을 작성하였다.

본 연구에서는 87개의 지진파의 가속도 응답스펙트럼(5% Damping)을 작성하고 이를 방향별, 규모별로 분류하여 분석하였다.

그림 13~21은 가속도 응답스펙트럼을 각 방향별(UD방향, NS방향, EW방향)로 분류하고 다시 규모별로 나누어 각 그룹별 평균 응답스펙트럼 및 평균+표준편차 가속도스펙트럼을 구한 것이다. 그림에서 실선은 평균 응답스펙트럼이고 점선은 평균+1σ 가속도응답스펙트럼이다.

표 2는 평균가속도응답스펙트럼과 평균+1σ 가속도 응답스펙트럼상에서 50Hz에서의 ZPA(Zero Period Acceleration) 값을 나타내었다.

평균 및 평균+1σ 응답스펙트럼을 비교해 보면 규모가 증가함에 따라 연직성분에 비해 수평 2성분의 값이 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며, 규모 4 이하의 경우 5 Hz 이상에서 큰 응답을 나타내고 있으나 규모 4 ~ 5의 경우 2 Hz 이상에서 큰 응답이 나타났다. 즉 규모가 증가함에 따라 큰 응답을 나타내는 진동수 범위가 넓어지며 저진동수 영역에서도 큰 응답을 보여주고 있

다. 이는 Boore[4]가 제시한 규모별 가속도 응답스펙트럼의 형태와 동일한 특성을 나타내는 것으로서 이를 이용한 강진에 대한 가속도 응답스펙트럼의 작성이 가능함을 보여주고 있다.

규모 3 이하의 경우, 평균가속도 응답스펙트럼에서 최대 응답량은 0.34~0.73 gal이고, 11~20.3 Hz의 진동수 범위에서 나타났다. 또한, 모든 응답스펙트럼을 포괄하는 최대가속도 응답스펙트럼에서는 1.65~5.89 gal, 16.6~20.0 Hz이다. 규모 4 이하의 경우, 평균가속도 응답스펙트럼에서는 0.36~0.51 gal, 10.2~27.3 Hz이고, 최대가속도 응답스펙트럼에서는 5.47~9.72 gal, 14.7~25.8 Hz이다. 규모 5 이하의 경우, 평균가속도 응답스펙트럼에서는 0.96~1.90 gal, 10.9~26.8 Hz이고, 최대가속도 응답스펙트럼에서는 10.78~25.39 gal, 11.6~26.8 Hz이다.

표 2. 가속도 응답스펙트럼의 ZPA(단위:gal)

방향		UD	NS	EW
규모				
~3	Mean	0.141	0.252	0.284
	Mean+1σ	0.271	0.624	0.721
3~4	Mean	0.182	0.147	0.195
	Mean+1σ	0.597	0.382	0.626
4~5	Mean	0.338	0.485	0.485
	Mean+1σ	1.093	1.987	1.733

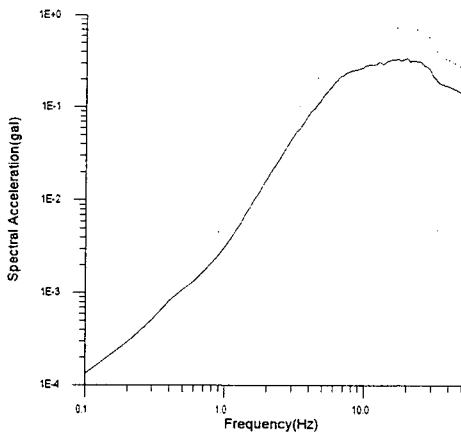


그림 13. 지반가속도 응답스펙트럼 (규모3,UD성분)

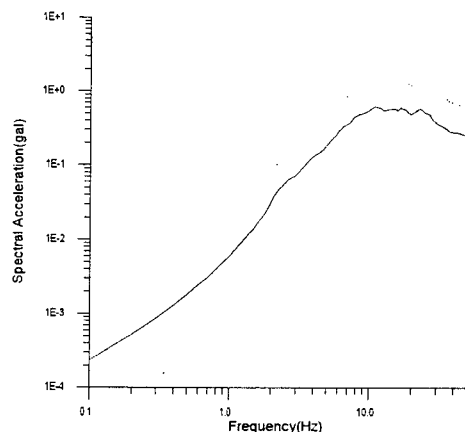


그림 14. 지반가속도 응답스펙트럼 (규모3,NS방향)

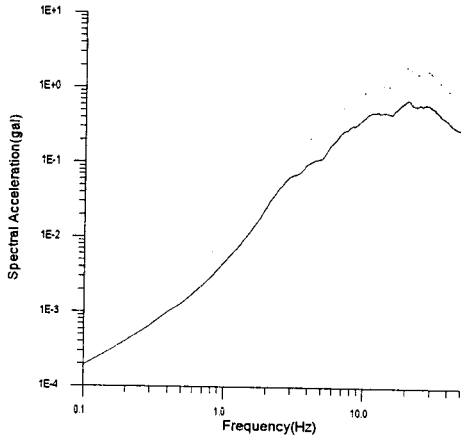


그림 15. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모3,EW성분)

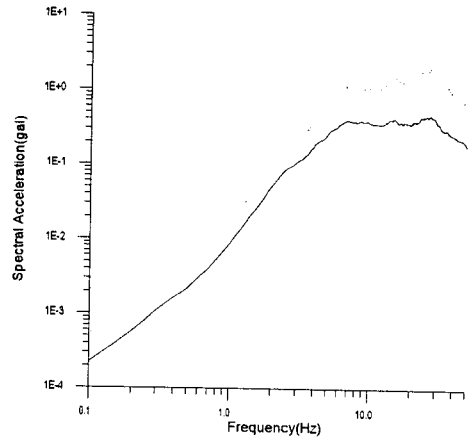


그림 16. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모4,UD성분)

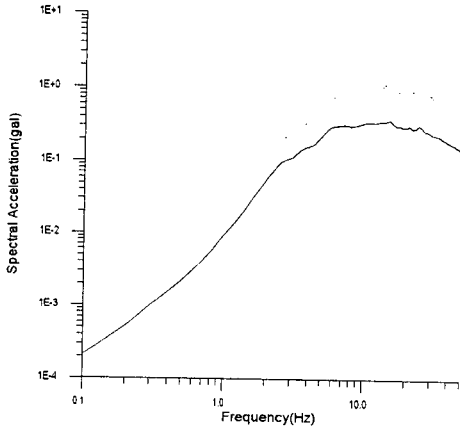


그림 17. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모4,NS성분)

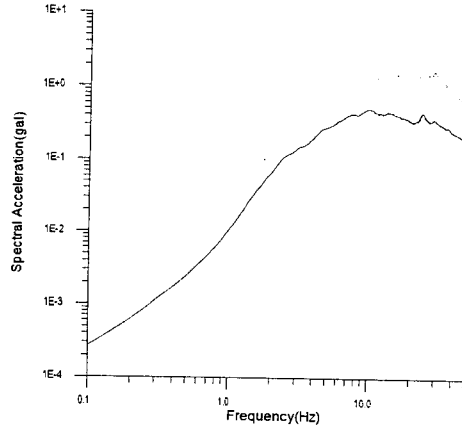


그림 18. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모4,EW성분)

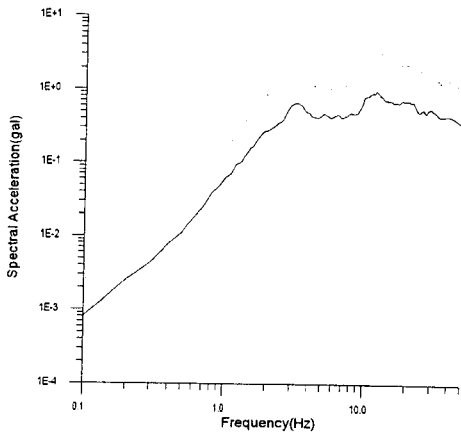


그림 19. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모5,UD성분)

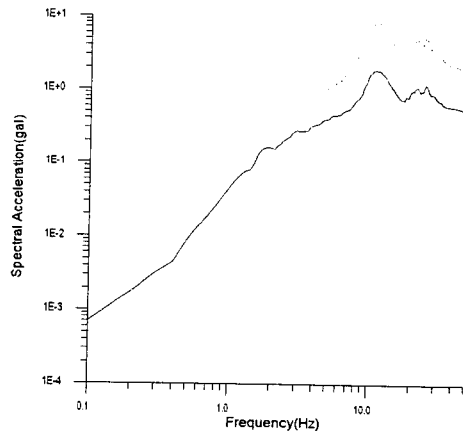


그림 20. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모5,NS성분)

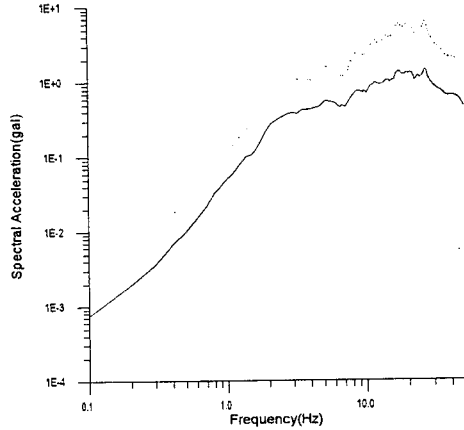


그림 21. 지반가속도 응답스펙트럼
(규모5,EW성분)

4. 결론

최근 국내에서 발생한 지진데이터 중 비교적 신뢰도가 높고 규모가 큰 지진을 선택하여 규모 분포, 진앙거리분포, 심도분포, 최대지반속도분포를 구하였으며, 규모별, 방향별 가속도응답스펙트럼을 구한 결과를 이용하여 평균가속도응답스펙트럼 및 평균+1 σ 가속도 응답스펙트럼을 구하였다.

연구결과 관측소의 위치에 따라 지진파의 주기성분에 상당한 차이를 나타내고 있는데, 이는 지진파의 전파특성뿐 아니라 관측소가 위치한 지반의 암반특성에 따라 달라짐을 알 수 있다. 또한 지진의 규모가 커짐에 따라 가속도 응답스펙트럼 상에서 파워가 증가하며 저진동수 영역에서의 응답량이 증가함을 알 수 있으며 상대적으로 큰 응답을 나타내는 진동수의 범위가 저진동수 영역으로 증가함을 알 수 있다.

본 연구에서 수행된 지진자료의 기초적인 공학적 특성분석의 자료는 추후 미세지진의 특성을 이용한 한국 표준응답스펙트럼 및 부지 고유 스펙트럼의 개발 등에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력 연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] 한국자원연구소(1998), 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가(제2권).
- [2] 한국자원연구소(1995), 경상분지에서의 지진연구(III), KR-95(C)-5.
- [3] 大崎順彦(1994), “新·地震動のスペクトル解析入門”, 鹿鳥出版會.
- [4] Boore, D. M.(1983), “Stochastic Simulation of High-Frequency Ground Motions Based on Seismological Models of the Radiated Spectra,” Bull. Seism. Soc. Am., 73(6), 1865-1894.