

# 최근 계측된 국내 계기지진기록의 특성 분석

## - 응답스펙트럼의 크기와 형상을 중심으로 -

### An Analysis of Ground Motions Recently Recorded Korean Earthquakes

- Focusing on response spectrum -

한 규 범\*      김 지 호\*      안 재 근\*      하 성 진\*\*  
 Han, Gyubeom      Kim, Jiho      Ahn, Jaegun      Ha, Seongjin

#### Abstract

With the increasing frequency of earthquakes in Korea, there is also growing interest in earthquakes in society. The purpose of this study is to evaluate the sizes and shapes of response spectra for ground motions recorded at South Korea region. To construct the database of ground motions, this study collect 180 earthquake records which were measured after 2000, from Korea Meteorological Administration's web. Each record consists of 1-vertical and 2-horizontal ground motions and response spectra were constructed for each horizontal motion. The results show that response spectra of recently recorded ground motions has similar sizes and shapes with design spectrum of Korean seismic design code.

키워드 : 설계스펙트럼, 응답스펙트럼, 지진기록, 지진파  
 Keywords : Design Spectrum, Response Spectrum, Earthquake Record, Ground Motion

#### 1. 서      론

최근 국내에서는 지진의 잦은 발생으로 인한 크고 작은 피해가 빈번하다. 과거 평균 19.2회 발생하였던 지진이 2000년도 이후 평균 70회 이상 급격히 증가 하였다 (Figure 1). 대표적 사례로써, 역사적으로 중요하다고 할 수 있는 규모 5.8 경주지진, 규모 5.4 포항지진은 해당 지역 건축 및 구조물의 구조 및 비구조요소애 많은 피해를 유발하였다.

국내의 내진설계는 기준(KDS 17 10 00)에서 제시하는 설계스펙트럼을 이용하여 수행된다. 현재 국내 설계스펙트럼은 해외의 계수 값 자료를 기준으로 한다. 설계스펙트럼은 지반 조건, 진앙거리 등의 계수 값에 따라 스펙트럼의 크기와 형상이 달라진다. 국내의 지반계수를 적용하기 위해 현재 국내의 내진설계연구는 지반운동 예측식을 이용한 부지응답스펙트럼 연구가 진행된 바 있다.(신동현 외, 2016; 김준경, 2009) 부지응답스펙트럼은 지반운동에 영향을 주변변수에 근거한 지반운동 예측식에 대해 소개

하여 이를 토대로 특정 지역의 부지응답스펙트럼을 작성하여 국내의 지반계수를 반영하는 연구이다.

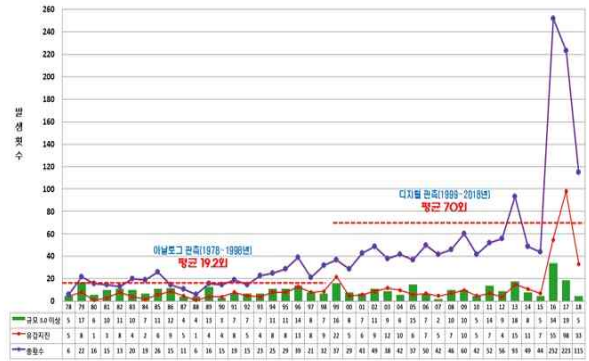


Figure 1. Earthquakes in Korea by year

#### 2. 국내 계기지진기록 수집문헌고찰

##### 2.1 지진가속도 계측기

국내에는 현재 266개의 운영중인 지진과 관측소가 존재한다. 관측된 지진파는 Necis 국가지진 종합정보시스템의 서버에 저장된다. 따라서 지진파 수집을 위해 Necis 국가지진 정보시스템을 활용하였고 선정된 지진 Data를 서버에 요청하여 수집하였다. 그 이후 수집한 Data는 바로 사용할수 없는 파일이기 때문에 Necis Pub 프로그램

\* 한국교통대학교 학사  
 \*\* 한국교통대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
 (Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Korean National University of Transportation, sjha@ut.ac.kr)  
 이 연구는 2020년도 한국교통대학교와 한국연구재단의 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:2017R1C1B5076937

의 포맷기능을 사용하여 지진과 데이터를 엑셀 파일로 변환하였다.

변환된 엑셀파일의 세로축 값이 연구에 사용할 수 없는 단위인 Count 값이므로 Gain값 Equation 3을 통하여 변환하여야했다. 따라서 9개 관측소 각각의 기록계와 가속도계의 민감도 정보를 수집하였다.

9개 관측소의 가속도계인 모두 ES-T를 사용해 민감도 Equation 1은 (40 V/G)이고, 속도계는 Q330S, Q330S+, Q330HRS를 사용하여 민감도 Equation 2은 모두 (49430.4 V/G)로 같아 Gain값 변환 매뉴얼 Equation 3에 따라  $1710215 \text{ Count}/(m/sec^2)$ 를 나누어 세로축의 Count 값을 제거하여 사용할 수 있는 가속도 데이터로 변환하여 활용할 수 있다.

$$\text{가속도계의 민감도 } S_1 : 4.08 \left( \frac{V}{m/sec^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{기록계의 민감도 } S_2 : 419430.4 \left( \frac{Count}{V} \right) \quad (2)$$

$$\text{Gain: } S_1 \times S_2 = 1710215 \left( \frac{Count}{m/sec^2} \right) \quad (3)$$

2.2 국내 지진관측소 및 계측 지진 리스트

관측소 선정에 있어서 한반도 전체의 균등한 Data 수집을 위해서 행정구역 단위 9개의 도시를 선정하였다.

응답 스펙트럼 선정에서 중요변수인 규모, 깊이, 진앙거리, 전단파 속도에 따라 데이터를 정리하였으며 분류를 위해 다음과 같은 작업이 진행되었다.

Table 1은 여러 연구기관에서 제시하고 있는 지진의 규모별 피해 내역이 제시되어 있으며, 규모 0~2.9 범위에서는 지진계에 의해서만 탐지가 가능하며 대부분의 사람이

Table 1. Damage by magnitude of earthquake

구분	영향
0~2.9	지진계에 의해서만 탐지가 가능하며 대부분의 사람이 진동을 느끼지 못함
3~3.9	인간은 자주 느끼지만 피해는 입히지 않음
4~4.9	방 안의 물건들이 흔들리는 것을 뚜렷이 관찰할 수 있지만 심각한 피해는 입히지 않음
5~5.9	좁은 면적에 걸쳐 부실하게 지어진 건물에 심한 손상
6~6.9	최대 160km에 걸쳐 건물들을 파괴하며, 1년에 약 120건 발생
7~7.9	넓은 지역에 걸쳐 심한 피해를 입히며, 1년에 약 18건 정도 발생
8~8.9	수백km 지역에 걸쳐 심한 피해를 입히며, 1년에 1건 정도 발생
9이상	수백km 지역을 완전히 파괴하는데, 약 20년에 1건 꼴로 발생

진동을 느끼지 못하고, 3~3.9 범위 의 경우 인간은 자주 느끼지만 피해는 입히지 않는다고 나타난다. 따라서 심각한 피해는 없지만 건축물에 영향을 미칠 수 있다고 생각되는 규모 4이상의 지진을 선정하였다.

Table 2는 수집한 20개의 지진에 대한 상세 리스트로, 응답 스펙트럼 산정의 중요 요소인 규모와 깊이를 정리하였고, 진앙거리의 측정을 위하여 지진발생지점의 위도와 경도를 정리하였다.

선정된 지진의 진원의 깊이는 기상청 NECIS 국가 지진 종합정보시스템의 지역/연도별지진 탭에서 수집한 지진에 대한 정보를 상세 검색하여 깊이에 대한 데이터를 알아낼 수 있었다. 선정된 관측소와 진앙과의 직선거리인 진앙거리의 데이터 수집을 위해서 Google Map의 ‘직선거리측정’ 기능을 활용하였다.

Table 2. Earthquake data

번호	규모(M)	발생년월일	진앙 (Epicenter)			
			위도(°N)	경도(°E)	깊이(km)	발생지역
1	4.3	2019-04-19	37.88	129.54	32	강원 동해시 북동쪽 54km 해역
2	4.1	2019-02-10	36.16	129.9	21	경북 포항시 북구 동북동쪽 50km 해역
3	4.6	2018-02-11	36.08	129.33	14	경북 포항시 북구 북서쪽 5km 지역
4	4.3	2017-11-15	36.12	129.36	10	경북 포항시 북구 북쪽 9km 지역
5	5.4	2017-11-15	36.11	129.37	9	경북 포항시 북구 북쪽 9km 지역
6	4.5	2016-09-19	35.74	129.18	19	경북 경주시 남남서쪽 11km 지역
7	5.8	2016-09-12	35.76	129.19	19	경북 경주시 남남서쪽 8.7km 지역
8	5.1	2016-09-12	35.77	129.19	19	경북 경주시 남남서쪽 8.2km 지역
9	5	2016-07-05	35.51	129.99	21	울산광역시 동구 동쪽 52km 해역
10	5.1	2014-04-01	36.95	124.5	8	충남 태안군 서격렬비도 서북서쪽 100km 해역
11	4	2013-09-11	33.56	125.39	13	전남 신안군 가거도 남남동쪽 60km 해역
12	4.9	2013-05-18	37.68	124.63	8	인천 옹진군 백령도 남쪽 31km 해역
13	4.9	2013-04-21	35.16	124.56	5	전남 신안군 흑산면 북서쪽 101km 해역
14	4	2011-06-17	37.89	124.81	0	인천 옹진군 백령도 동남동쪽 13km 해역
15	4	2009-05-02	36.56	128.71	0	경북 안동시 서남서쪽 2km 지역
16	4.2	2008-05-31	33.5	125.69	0	제주 제주시 서쪽 78km 해역
17	4.8	2007-01-20	37.68	128.59	0	강원 평창군 북북동쪽 39km 지역
18	4	2003-06-09	36	123.6	0	충남 태안군 서격렬비열도 서남서쪽 186km 해역
19	5	2003-03-30	37.8	123.7	0	인천 옹진군 백령도 서남서쪽 88km 해역
20	4.9	2003-03-23	35	124.6	0	전남 신안군 흑산면 서북서쪽 88km 해역

마지막으로 선정된 9개의 관측소에 해당하는 전단파 속도에 대한 자료가 필요하다. 국내에서는 이에 대한 데이터를 정리한 자료가 없을뿐더러 있다하여도 지역별로 상세하게 정리된 자료는 찾아 볼 수 없었기 때문에, 미국 지질조사국 사이트인 USGS(United States Geological Survey)를 통하여 각 관측소에 해당하는 위도와 경도를 입력하여 위치에 대한 전단파 속도를 산출하였다.

앞서 조사한 규모, 깊이, 진앙거리, 전단파 속도를 주요 변수로 설정하여 지진파 332개를 데이터베이스화 하였으며, 이는 MATLAB 프로그램을 활용하여 응답 스펙트럼을 추출하였다.

### 3. 응답스펙트럼 형상 분석 및 비교

#### 3.1 계기지진기록의 응답 스펙트럼

2000년 이후 규모 4.0 이상의 지진파를 행정구역별 9개의 관측소를 기반으로 총 180개가량 수집하여 각 관측소당 40개의 수평지진파를 수평성분(남북), 수평성분(동서)로 나누어 선정한 후 수집된 지진데이터 360개중 사용할 수 없는 데이터를 제외한 332개의 데이터를 토대로 수평지반운동 응답스펙트럼을 추출하였다. 건축물에 지진파가 작용할 때 주로 영향을 주는 요소는 수평성분이다. 수직성분도 영향을 미치지만 기본적으로 건축물을 설계할 때 연직하중에 대한 설계가 되어있기 때문에 영향이 더 적



Figure 2. Earthquake record station

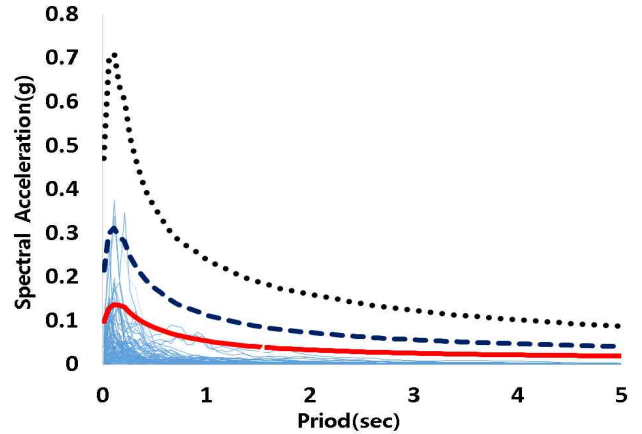


Figure 3. Collected 332 response spectra

다고 볼 수 있다. 따라서 수평성분만 고려하면 수직성분에 대해서도 안전하다고 볼 수 있기 때문에 수평성분에 대한 응답 스펙트럼가속도만 추출하였다.

Figure 3은 평균과 표준편차를 통해 형상을 나타내었고, 수집된 데이터는 단주기 0.2초에서 평균적으로 0.15g의 최대 응답 가속도의 값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 단주기에서 2초주기 이후로는 가속도 값이 매우 작아지는 형상을 보인다.

#### 3.2 응답스펙트럼의 크기와 형상 분석

본 연구에서 수집된 332개의 계기지진기록 데이터를 수집된 지진구역과 지반조건에 따라 분류하였으며, 지진파 응답스펙트럼의 크기와 형상을 분석하기 위해 계기지진기록 응답스펙트럼의 최대지반가속도(0초주기의 가속도 응답스펙트럼)을 설계스펙트럼과 일치하도록 조정하였다. 본 연구에서 선정한 9개의 관측소의 지반 조건은 S1과 S2에 해당하는 지반에 해당되며, 선정된 9개의 관측소를 지진구역1, 지진구역2로 분류하였다 지진구역1에 해당하는 관측소는 수원, 대전, 충주, 구미 정읍, 광주, 통영관측소이고, 지진구역2에 해당하는 관측소는 춘천, 제주관측소다.

Figure 4에서, 지진구역1 지반조건S1에서 개정 이전의 Design spectrum(KBC 2016)과 계측된 실제 응답 스펙트럼(AVERAGE)은 단주기 영역에서 큰 차이를 보인 반면, 개정 이후의 Design spectrum(KDS 17 10 00)과 비교 시에는 다소 차이는 존재하지만 국내의 특성을 더욱 잘 반영하도록 개정되었다. 장주기 영역의 경우 실제 응답 스펙트럼은 개정 전,후의 설계스펙트럼과 거의 유사하다.

Figure5. 지진구역1 지반조건S2의 단주기 영역에서 실제 응답 스펙트럼(AVERAGE)과 개정 이전의 Design spectrum(KBC 2016)을 비교 시 큰 차이를 보이는 반면, 개정 이후의 Design spectrum(KDS 17 10 00)과 비교 하면 거의 유사하다. 장주기의 경우 실제 응답 스펙트럼은 개정 전,후의 설계스펙트럼과 아직 큰 차이를 보인다.

Figure6. 지진구역2 지반조건S1에서 단주기 영역은 개정 전 Design spectrum(KBC 2016)과 실제 응답 스펙트럼

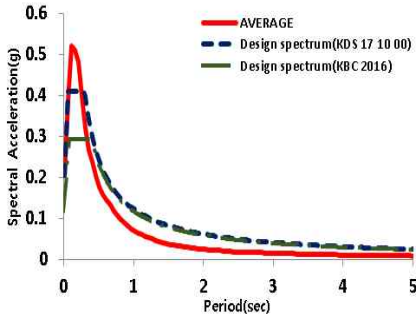


Figure 4. Seismic Zone 1, Site Class S1

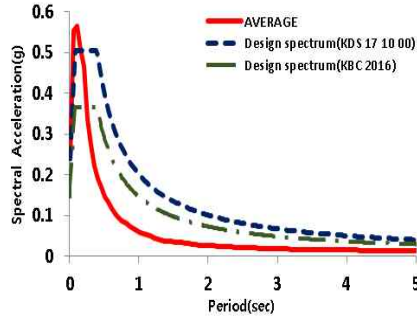


Figure 5. Seismic Zone 1, Site Class S2

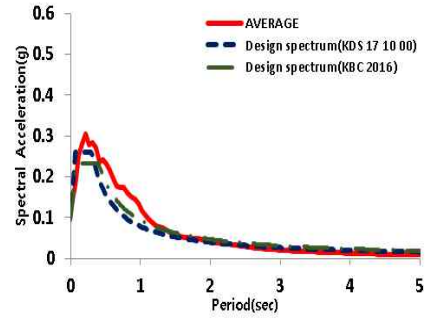


Figure 6. Seismic Zone 2, Site Class S1

을 비교 시 유사한 양상을 보이지만 개정 이후의 Design spectrum(KDS 17 10 00)이 더욱 잘 반영하고 있다. 장주기 영역의 경우 개정 전,후의 설계스펙트럼 모두 실제 응답 스펙트럼을 잘 반영하고 있다.

종합적으로 실제 응답 스펙트럼과 개정 이후 설계 스펙트럼은 다소 차이를 보이지만, 개정 이전과 비교하였을 때 국내의 특성이 잘 반영되도록 개정되었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 2003년 이후 발생한 국내 지진 중 규모 4 이상 지진 21개 9곳의 관측소에서 측정된 332개의 Data를 기준으로 스펙트럼 형상을 설계하였다. 스펙트럼을 바탕으로 기존 국내 기준의 설계 스펙트럼(KDS 17 10 00)과의 형상을 비교 하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 선정된 9개의 관측소에서 수집한 데이터 332개의 결과 값을 분석한 결과 단주기 0.2초에서 최대 응답가속도 값을 가지며, 2초 이후 주기에서는 가속도의 값이 매우 작아진다. 결과적으로 국내의 지반운동은 단주기에서 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

2) 국내 내진설계기준에서 제시하고 있는 설계스펙트럼(KDS 17 10 00)과 수집된 지반운동 응답스펙트럼을 지진구역과 지반조건으로 분류하여 비교한 결과, 지진구역 1

지반조건 S1 과 지진구역1 지반조건S2 에서는 각각 단주기 영역과 장주기 영역에서 큰 차이가 나타났다. 반면, 지진구역2 지반조건S2에서는 장주기 영역에서 거의 유사한 형상을 보인다.

3) 본 연구에서 개정 이후 설계 스펙트럼(KDS 17 10 00)이 최근 발생한 국내 지진의 응답 스펙트럼과 다소 차이를 보였지만, 개정 전 설계 스펙트럼(KBC 2016)과 비교하면 개정 이후 국내 기준 설계 스펙트럼은 국내의 지반조건이 잘 반영되어 개정되었다.

4) 본 연구에서는 수집된 지반운동의 수와 지진 조건의 범위가 한정적이므로, 대상 지진 관측소와 계기지진기록의 수를 확대하여 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. 지반운동의 수와 국내 지반 조건의 자료가 부족하

여 Data값의 오차발생 우려가 있다. 차후에는 더 많은 Data를 수집 하여서 연구의 보강이 필요하다고 사료된다.

#### REFERENCES

- 1) Shin, D. H. & Kim, H. J. (2016). Generating Site-Specific Response Spectrum Based on the Ground Motion Prediction Equation, *The Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection*, 20(4), 39-44
- 2) Kim, J. K. (2009). Analysis of Response Spectrum of Ground Motions from Recent Earthquakes, *Tunnel and Underground Space*, 19(6), 490-497
- 3) Yun, K. H., Jung, Y. S. & Choi, I. (2004), Study on the Scenario Earthquake Determining Methods Based on the Probabilistic Seismic Hazard Analysis, *Earthquake Engineering Society of Korea*, 8(6), 23-29
- 4) Kim, J. K. (2011). Analysis of Characteristics of Horizontal Response Spectrum of Velocity Ground Motions from 5 Macro Earthquakes, *Tunnel and Underground Space*, 21(6), 471-479
- 5) Ha, S. W., Park, M. Y. & Han, S. W. (2016). An Accurate and Efficient Method for Selecting and Scaling Ground Motions Considering Target Response Spectrum Mean and Variance, *Earthquake Engineering Society of Korea*, 20(5), 331-340
- 6) Heo, T. M., Kim, J. H., Lee, J. H. & Kim, J. K (2018). Response Spectra of 2017 Pohang Earthquake and Comparison with Korean Standard Design Spectra, *Earthquake Engineering Society of Korea*, 22(3), 129-137
- 7) Jee, H. W. & Han, S. H. (2018). Prediction of Peak Ground Acceleration Generated from the 2017 Pohang Earthquake, *Earthquake Engineering Society of Korea*, 22(3), 211-217
- 8) USGS, <https://usgs.maps.arcgis.com/>
- 9) Necis, <http://necis.kma.go.kr/>
- 11) KDS 17 10 00 (2019). General Seismic Code, Korea Construction Standards Center.