

## 국내 최근 지진의 특성연구

윤보람<sup>1)</sup>, 김준경<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>세명대학교 환경안전시스템공학 석사과정, younboram15@naver.com

<sup>2)</sup>세명대학교 소방방재학과 교수

### A Study of Recent Domestic Earthquake

Bo Ram Yoon<sup>1)</sup>, Jun Kyung Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Environmental Safety Systems Engineering, Semyung University

<sup>2)</sup>Department of fire & Disaster Prevention, Semyung University

최근 백령도 인근에서 발생한 지진은 규모 4. (한국지질자원연구원)의 지진으로 중규모 지진에 해당한다. 이 지역은 1989년 이래 규모 4.0 이상의 지진이 이번 지진까지 포함하여 5차례 발생하여 왔을 뿐만 아니라 이 보다 작은 규모의 지진들도 다수 발생하고 있다. 따라서 한반도 남쪽지역에서 중규모급의 지진활동이 비교적 활발한 지역중의 하나이다. 따라서 이번 지진의 주응력 방향과 같은 지진원 특성의 분석을 통해 기존 주응력 특성과 비교하는 것이 대단히 중요하다.

본 연구는 백령도인근 지진의 지진원 특성을 보다 상세하게 규명하기위해 여러가지 지진원 모델중에서 특히 모멘트텐서 지진원 대표이론 (Moment Tensor Source Representation Theorem)을 적용하였다. 이 분야에 대한 이론은 Backus & Mulcahy (1977)<sup>6)</sup> 및 Gilbert, F. and Dziewonski (1975)<sup>7)</sup> 등에 의해 제시되었다.

본 연구는 지진모멘트텐서 지진원대표 이론을 이용하여 2011년 6월 17일 발생한 백령도 해역지진의 지진원기구, 진원깊이 및 지진원 특성 등과 같은 지진원 상수들을 분석하였다.

지진모멘트텐서 지진원 대표이론을 적용하는 연구방법은 국내에서는 Kim and Kraeva(1998)<sup>10)</sup> 에 의해 연구되었고, 하나의 광대역 관측소 자료만을 이용하는 방법을 적용하여 국내에서 발생한 중소규모의 지진에 대해 분석하였다.

또한 진앙이 인천국제공항, 인천 및 서울 등 주요시설 및 인구집중지역인 수도권에 가까이 위치하고 있어 백령도 해역지진으로부터 관측된 지반진동을 이용하여 각종 구조물의 내진공학적 특성도 분석하였다. 설계지반운동의 특성은 일반적으로 응답스펙트럼으로 표현된다. 응답스펙트럼은 우리나라 고유의 지진 지체구조 특성, 진앙거리에 따른 감쇠 특성 및 고유주기 등을 기초로 하고 있다. 그러나 해당 분야에 대한 연구가 충분하지 못해 1997년에 건설교통부에 의해 제시된 건축물 및 구조물을 위한 응답스펙트럼(건설교통부, 1997)을 약 10 여년 동안 개정없이 아직 동일한 기준을 계속 채택하고 있다.

따라서 본 연구는 최근 발생한 백령도 해역지진과 같은 중규모의 지진으로부터 관측된 지반진동을 이용하여 지진원기구를 분석한 결과를 기존의 연구에서 제시된 백령도 주변의 응력방향과 비교하였다.

또한 응답스펙트럼을 분석하였고 결과를 국내에서 가장 엄격하게 적용하고 있는 것으로 알려진 원자력 시설물에 관한 내진설계 기준 뿐만 아니라 국내 일반 구조물 및 건축물 내진설계기준과 각각 비교하였다.

## 2. 지반진동 자료

본 연구에서는 최근 발생한 백령도 해역지진과 같은 중규모의 지진으로부터 측정된 지반진동 자료를 고려하였고 이 중에서 잡음이 비교적 작은 지반진동 만을 이용하였다.

본 연구에서 사용한 지진에 대한 기관별 진앙위치 및 규모는 Table 1에 제시되어 있다. 이 논문에서는 동서 및 남북성분을 포함하여 수평 성분 20개 자료를 처리하여 분석하였다. 자료타입은 가속도형식이며, 샘플링 간격은 1초당 100개이다. 또한 관측된 지반진동의 관측소의 지반특성은 국내의 연구결과가 아직 충분하지 못하여 고려하지 않았다. 향후 많은 연구가 필요한 분야이다.

**Table 1.** 기관별 진앙위치 및 규모

진앙위치 결정기관	규모	진앙위치		비고
		위도	경도	
한국기상청 (KMA)	4.1	37.91 N	124.5 E	
한국지질자원연구원 (KIGAM)	4.3	37.8723	124.7100	

## 3. 연구방법

### 3.1 지진원 분석

지진원이 등가의 double coupled body force로 대표할 수 있고 지진모멘트텐서가 2차 텐서라고 가정할 경우 지진원에 대한 지구물질의 동탄성학적인 반응은 다음과 같은 식으로 표현 가능하다.

$$U_k(x', t') = G_{kij}(x', t'; o, o) * M_{ij}(o, t') \quad (1)$$

여기서,  $U_k$  ; the displacement in the k-th direction,

$G_{kij}$  ; the elasto-dynamic Green's function,

$M_{ij}$  ; a set of time dependent moment tensors,

\* ; convolution operator

k ; vertical (k=1), radial (k=2), 그리고 tangential (k=3) 성분 지반진동을 나타낸다.

### 3.2 응답스펙트럼 분석

입력 지반진동의 시간길이를 조절할 필요가 있고 이를 위해 본 연구에서는 지반진동의 지속시간 전체 구간을 입력하였다. 또한 응답스펙트럼을 계산할 때 주기 또는 고유진동수의 범위는 0.1Hz부터 50Hz까지 범위에서 0.1Hz씩 증가시키면서 500개의 고유진동수 각각에 대해 반응을 계산하였다.

약 30Hz이상의 고주파 영역의 지반진동은 일반적으로 빨리 감쇠할 뿐만 아니라 주요 구조물 전체에 심각한 구조적인 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. 또한 본 분석 결과를 비교할 대상 중의 하나에 해당하는 국내 원자력시설물의 내진기준에 해당하는 Reg. Guide 1.60에서도 약 33Hz까지만 값이 제시되어 있다. 고유진동수 영역에 대한 여유를 감안하여 본 연구에서는 최대 고유진동수 50Hz까지 응답을 계산하여 그 결과를 상호 비교하였다.

물론 구조물마다 다양한 고유주기를 갖고 있지만 대부분의 토목 및 건축 구조물의 경우 약 1Hz에서 약 5Hz의 범위에서 고유주기 조건을 가지고 있으므로 특히 이러한 고유진동수 대역에서 구조물의 응답 특성이 대단히 중요하다.

각 지진으로 관측된 지반진동 자료들은 측정거리, 지진규모, 지반조건 등의 다양한 인자들의 변화에 따라서 서로 다른 최대 지반가속도값을 가지고 있어, 지반진동을 분석하여 얻어진 각각의 응답스펙트럼들을 단순하게 조합하여 통계적으로 처리하는 것은 의미가 없다. 따라서 동일한 최대 지반가속도에 대해 각각의 응답스펙트럼을 정규화한 후에 스펙트럼을 구하는 것이 일반적이다. 정규화하는 방법으로 최대 지반가속도, 유효 최대가속도(Effective Peak Acceleration), 및 스펙트럼 강도(Spectrum Intensity) 을 이용하는 방법 등 3가지 종류로 분류하고 있으나 본 연구에서는 최대지반가속도에 의한 정규화 방법을 적용하였다.

## 4. 연구 결과

### 4.1 지진원 분석

연구에 이용된 지반진동은 수평성분 18 개이며 전파형 역산을 통해 MT 방법을 적용하였다. 지진원기구에서 제시하는 주응력 방향은 기존 이지역의 주 응력방향과 유사하였다.(그림 1)

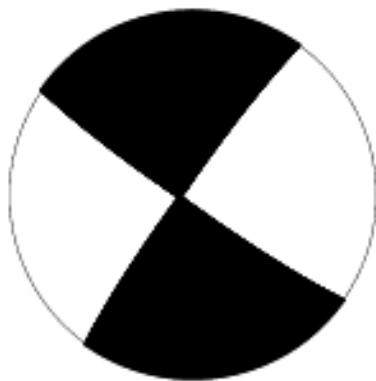


그림 2. 백령도 해역지진의 지진원기구

## 4.2 응답스펙트럼 분석

일반적으로 건축 및 토목 구조물은 감쇠율이 3% 에서 7% 의 범위를 가지고 있고 이중에서 가장 일반적으로 비교되고 있는 5% 감쇠값에 해당하는 응답을 계산하였다. 분석결과를 국내 원자력발전소 및 관련 시설물의 내진설계 기준으로 사용되고 있는 Reg. Guide 1.60 및 국내 일반 구조물 및 건축물에 대한 내진설계기준과 비교하였다. 국내 원자력발전소 내진설계기준에 해당하는 Reg. Guide 1.60은 국내 일반 구조물 및 건축물에 대한 내진설계기준과는 달리 수평 및 수직 성분에 대해 분리하여 기준을 각각 제시하고 있다.

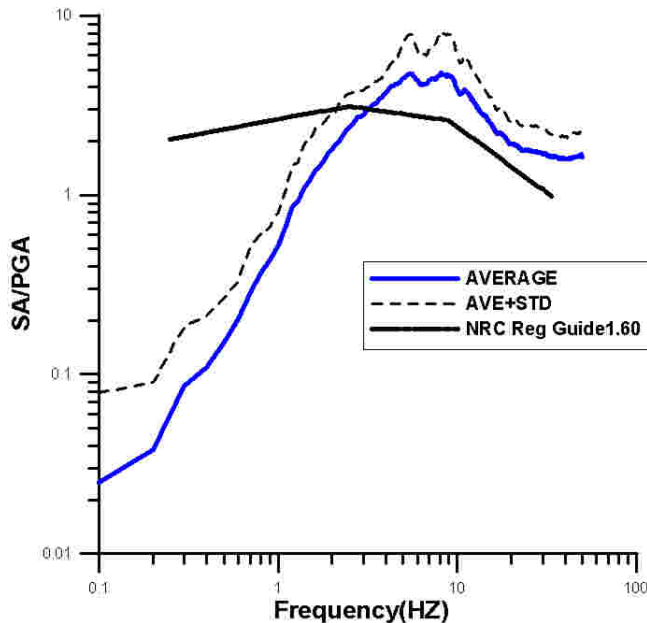


그림 3. Comparison of horizontal response spectrum with US NRC Standard Response Spectrum.

원자력 관련 구조물의 내진설계 기준(그림 1) 과 국내 일반 구조물 및 건축물 내진설계기준(그림 2) 과 각각 비교한 결과 또한 국내 원자력시설물의 내진기준으로 이용되고 있는 Reg. Guide 1.60과 비교한 결과 특히 약 5 Hz이상의 높은 고유진동수 영역에서 Reg. Guide 1.60 보다 높은 값을 보여 주었다. 또한 국내 일반 구조물 및 건축물 내진설계기준인 표준 설계응답스펙트럼을 3개 지반조건에 적용한 결과를 분석 자료와 동시에 비교한 결과 약 0.3초 이하의 단주기 영역의 전체 대역(SD 지반조건)에서 수평 성분 자료처리 결과가 기준을 크게 초과하는 현상을 보여 주었다.

향후 국내 지진활동 실정에 적합한 내진설계 기준 마련을 위해 관측자료의 질적 향상 및 양적인 축적 등을 통하여 특히 수평 성분의 약 5 Hz 이상의 고주파수 대역에서 수평응답스펙트럼 기준의 보수성을 심각하게 고려할 필요가 있다.

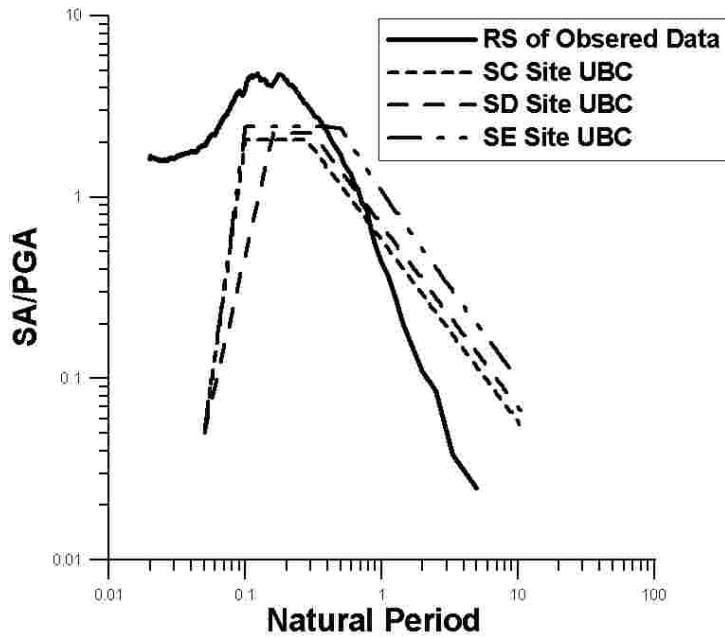


그림 4. Comparison of horizontal response spectrum with Korean UBC Standard Response Spectrum.

## 5. 참고문헌

1. 건설교통부, 1997, 내진설계기준개발 2단계 연구, 한국지진공학회.
2. 김성균, 2007, 한반도 지진특성을 고려하여 모사된 강진동에 대한 가속도 응답스펙트럼, 한국지구과학회지, 28.2, 179-186.
3. 김준경, 2003, 국내 지진의 응답스펙트럼 특성 분석, 한국원자력안전연구원 연구보고서, 한국원자력안전기술원. 152p.
4. 김준경, 2005, 발파에 의한 지반진동의 응답스펙트럼 분석, 한국암반공학회, 338-343.
5. 김준경, 2009, 최근 발생지진 관측자료를 이용한 응답스펙트럼 분석, 한국암반공학회, 19, 490-497.
6. 김준경, 홍승민, 박기중, 2010, 국내 관측자료를 이용한 수직응답스펙트럼 특성 분석, 지구물리와 물리탐사, Vol 13, No, 3, 227-234.