

## Near Field 지진의 특징과 구조응답에 대한 영향

### Characteristics of Near Field Earthquakes and its effect on Seismic demands

배미혜 \*      권오성 \*\*      한상환 \*\*\*  
Bae, Mee-Hye    Kwon, Oh-Sung    Han, Sang Whan

---

#### ABSTRACT

Near field ground motions contain distinct, large amplitude pulses in both velocity and displacement. This paper presents an investigation on the characteristics of near filed earthquakes and their effects on seismic demands. For this purpose 20 sets of near field ground motion and 20 sets of far filed ground motion are compared with respect to Linear Elastic Response Spectrum(LERS), Response Modification Factor(R), Inelastic Response Spectrum(IRS), and performance point of Capacity Spectrum Method(CSM).

---

#### 1. 서 론

##### 1.1 연구배경 및 목적

Near field 지진은 큰 속도·변위의 변화를 보이고 매우 긴 가속도 펄스를 지니고 있는 등, 기존의 지진과는 전혀 다른 양상을 띄고 있다. 기존의 내진기준에 의해 내진설계 되어진 건물들도 이러한 지진에 의해 피해를 받았다는 보고가 발표되고 있다.(Baze 2000, Hall 1998, Iwan 2000) 그러나 현재 Near field 지진에 대한 연구는 아주 미흡하고 그 사례도 적다. 본 연구에서는 Near filed 지진기록과 일반 지진기록에 의한 구조물의 요구응답을 구하고 이를 비교 검토하여 좀 더 구체적이 Near filed 지진의 특징을 정의하고 그러한 Near field 지진이 구조물의 요구응답에 어떠한 영향을 미치는지 알아보는 데에 목적을 둔다.

##### 1.2 연구방법

Near filed 지진과 일반 지진을 비교하는 방법으로는 밀면전단력(Base shear)을 이용한 구조물의 요구응답과 능력스펙트럼법(CSM)을 이용한 성능점을 선정하였다. 현행 내진설계기준(ATC 3-06(1978), NEHRP(1997), UBC(1997))에서는 밀면전단력을 이용하여 지진에 대한 구조물의 요구응답을 구하도록 되어있다. 밀면전단력은 각 기준들마다 그 형태는 다르지만 기본적인 구성요소 비탄성응답스펙트럼(IRS)과 구조물의 중량 두 개의 구성요소로 이루어져 있다. 여기에서 비탄성응답스펙트럼은 탄성응답스펙트럼(LERS)과 반응수정계수(R)를 이용하여 구할 수 있다. 그러므로 설계밀면전단력을 사용하여 구조물의 요구응답을 구하는 것은 결국 탄

---

\* 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 한양대학교 건축공학과 연구원

\*\*\*정회원·한양대학교 건축공학과 조교수

성응답스펙트럼과 반응수정계수, 또는 비탄성응답스펙트럼을 사용하여 구한다고 할 수 있다. 능력스펙트럼법은 구조물의 요구성능을 예측하기 위한 방법으로 지진에 의한 구조물의 손상을 하중수준보다는 변위수준을 가지고 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 Near field 지진과 일반 지진기록에 따른 탄성응답스펙트럼, 반응수정계수, 비탄성응답스펙트럼, 능력스펙트럼을 이용한 성능점을 각각 비교 검토하였다.

### 1.3 Near field 지진기록의 선택

기존의 Near field 지진 관련 논문( BAEZ 2000, HALL 1998, ATC-40)에서 제시된 여러 가지 Near filed 지진의 선택조건을 종합하여 본 연구에서는 다음과 같은 Near field 지진의 요건을 정의하였다. (1)  $M_s > 6.5$  (2) 최대지반가속도(PGA)  $> 0.2g$  , 최대지반속도(PGV)  $> 20cm/s$  (3) 지반조건  $S_1$  (4) 진앙까지의 거리  $\leq 15km$  (5) Free field station이나 작은 빌딩의 ground floor에서 측정된 지진 데이터.

이 다섯가지 조건을 만족시키는 지진 데이터를 Near field 지진이라 정의하여 표 1 에서와 같이 20개의 지진 데이터를 선정하였다.

이와 비교할 일반 지진으로는 Seed et al.(1976)이 연구에서 사용한 지진기록중 단단한 지반(지반조건  $S_1$ )의 지진기록 20개를 비교자료로 선정하였다. (표 2)

표 1 Near filed 지진 데이터

Station name	Earthquake	Date (M/D/Y)	Magnitude (Ms)	Max Acc.(g)
Cape Mendocino	Cape Mendocino	04/25/92	7.1	0.754 1.497 1.039
CHY006	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.202
CHY028	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.821 0.337 0.653
TCU065	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.814
TCU067	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.225
WNT	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.958 0.626 0.311
9201 Karakyr	Gazli	05/17/76	7.3	1.264 0.608 0.718
Izmit	Kocaeli	08/17/99	7.8	0.22
Lucerne	Landers	06/28/92	7.4	0.818 0.785 0.721
Gilroy Array #1	Loma Prieta	10/18/89	7.1	0.411

표 2 Seed의 지진 기록 데이터

Station name	Earthquake	Date (M/D/Y)	Magnitude (Ms)	Max Acc.(g)
Federal Budg	Helena	10/31/35	6	0.145
Taft	Kern County	07/21/52	7.6	0.156 0.179
Golden Gate Park, S. F.	San Francisco	03/22/57	5.25	0.083 0.105
Wrightwood, Calif	Lytle Creek	09/12/70	5.4	0.197 0.142
Temblor	Parkfield	06/27/66	5.6	0.269 0.347
SCE Power Plant, San Onofre	Borrego Mtn	04/08/68	6.5	0.041 0.046
Cal. Tech, Seismic. Lab	San Fernando	02/09/71	6.6	0.089 0.192
Santa Felicia Dam	San Fernando	02/09/71	6.6	0.217 0.202
Lake Hughes Sta. 4	San Fernando	02/09/71	6.6	0.188 0.394
Santa Anita Dam	San Fernando	02/09/71	6.6	0.213
3838 Lankershim Blvd	San Fernando	02/09/71	6.6	0.151
Griffith Park Observ	San Fernando	02/09/71	6.6	0.171

## 2. 본론

### 2.1 탄성응답스펙트럼의 비교

응답스펙트럼은 하나의 특정한 지진 기록에 대한 단자유도계(SDOF)의 최대응답을 나타내는 것이다. 본 연구에서는 Near field 지진기록과 Seed의 지진기록에 따른 탄성응답스펙트럼의 응답을 평가, 비교해 보았다. 구조물의 동적해석에 사용되는 스펙트럼은 일반적으로 감쇠비 5% 구조물을 기준으로 하기 때문에 본 연구에서도 5% 감쇠를 갖는 단자유도 구조물의 가속도 탄성응답스펙트럼을 0.15g 로 정규화(Normalization)하여 평균값을 비교하였다.

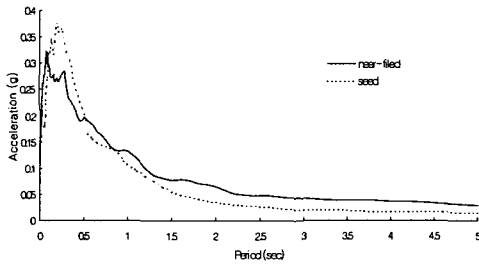


그림 1 본 연구에서 사용한 Near filed 지진과 Seed의 지진기록의 탄성응답스펙트럼

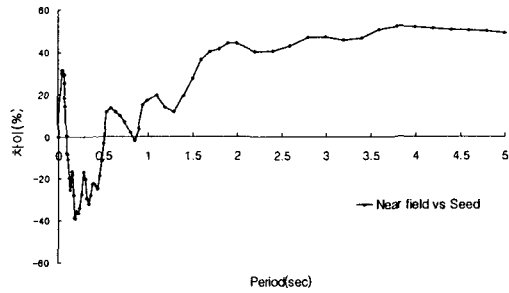


그림 2 탄성응답스펙트럼에서 Near field 지진에 대한 Seed 지진기록의 차이

그림 1을 보면 주기 0~0.1초 구간에서는 Near field 지진의 스펙트럼값이 Seed의 지진기록의 스펙트럼값보다 크게 나왔고 0.1~0.5초 구간에서는 Near field 지진의 스펙트럼값이 Seed의 지진기록에 의한 스펙트럼값보다 작게 나왔다. 주기 0.5초 이후의 구간에서는 Near field 지진의 스펙트럼값이 Seed의 지진기록의 스펙트럼값보다 상위하고 있음을 알 수 있다. 그림 2는 Near field 지진에 대한 응답가속도값을 기준으로하여 Seed의 지진기록에 대한 응답가속도값의 차이를 구한 그래프이다. 그래프를 보면 주기 2초 이상의 구조물에서는 가속도 응답의 차이가 40% 이상 발생함을 알 수 있다.

### 2.2 반응수정계수의 비교

구조물이 지진하중에 견딜 수 있도록 구조물의 강성을 증가시켜 사용년간 동안 발생할 지진에 대하여 구조물의 항복이 일어나지 않도록 충분한 강도를 제공하는 방법은 경제적이지 못하다. 따라서 현행 내진설계 기준에서 제시하는 가장 보편적인 방법은 구조물이 지진하중에 대하여 항복하도록 허용하되 항복후에 거동이 연성거동이 되도록 보장하는 것이다. 그러므로 현행 내진설계에서 제시하는 반응수정계수 중 구조물의 비탄성 요구를 평가하기 위해서는 구조물의 연성비에 따른 강도저감계수(Strength Reduction Factor,  $R_\mu$ )가 차지하는 비중이 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 밀면전단력의 구성요소인 반응수정계수 중 구조물의 연성과 강도저감에 관계하는 강도저감계수  $R_\mu$ 를 사용하여 Near field 지진기록과 Seed의 지진기록의 차이를 살펴보고자 한다. 본 연구에서 사용된 지진기록에 따른  $R_\mu$  스펙트럼은 그

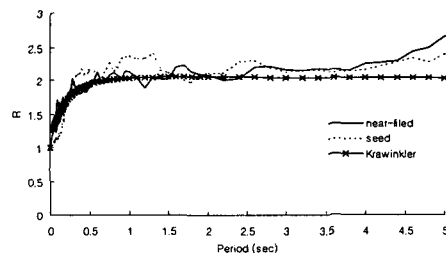


그림 3 목표변위연성비  $\mu=2$  인 경우  $R_\mu$  스펙트럼

림 3, 4, 5 와 같다. 대략 0~0.15 초에서는 Near field 지진 기록에 따른 강도저감계수  $R_\mu$  가 Seed의 지진기록에 따른 강도저감계수  $R_\mu$ 보다 크게 나왔다.  $\mu=2$ 인 경우 0.095 초일 때 최고 33.05%의 차이를 보이고  $\mu=4$ 인 경우 0.075 초일 때 42.50%의 차이를 보였다. 그리고  $\mu=6$ 인 경우 0.075초일 때 50.52%의 차이로 각각의 목표연성비에 대한 최대차이가 구간에서 나왔다. 그러나 0.15~3초에서는 Seed의 지진기록의  $R_\mu$ 이 더 크게 나왔다. 주기 3초 이후의 장주기부터는 Near field 지진기록의  $R_\mu$ 이 Seed의 지진기록의  $R_\mu$ 보다 항상 상위에 있다. 5초일 때 두 지진기록의  $R_\mu$ 값의 차이는 목표변위연성비  $\mu=2$  일 때 9.37%,  $\mu=4$  일 때 12.38% ,  $\mu=6$  일 때 8.44%이다.  $\mu$ 값이 커질수록 Near field의  $R_\mu$ 값이 전반적으로 더 크게 나왔다. Krawinkler에 의해 제한된  $R_\mu$ 값과의 차이는 그림 3, 4, 5에서 보는바와 같다.

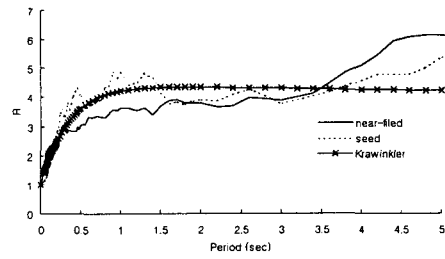


그림 4 목표변위연성비  $\mu=4$  인 경우  $R_\mu$  스펙트럼

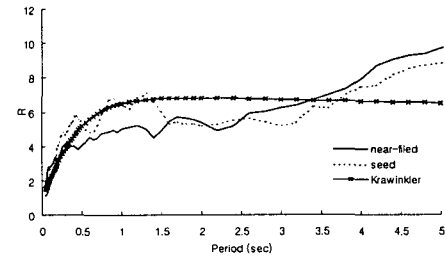


그림 5 목표변위연성비  $\mu=6$  인 경우  $R_\mu$  스펙트럼

### 2.3 비탄성응답스펙트럼의 비교

비탄성응답스펙트럼은 탄성응답스펙트럼을 강도저감계수 ( $R_\mu$ )로 나누어 줌으로써 근사적으로 얻을 수 있다. 본 연구에서는 강도저감계수 ( $R_\mu$ )의 비교 이후 비탄성응답스펙트럼을 비교해 보았다. 그림 6, 7, 8 에서 보이는 바와 같이 주기 0~0.5초 사이에 매우 급격한 양상을 보인다.  $\mu=2$  일 경우에 0.07~0.45초 구간 사이에 Seed의 지진기록의 비탄성응답스펙트럼의 값이 크게 나왔고  $\mu=4$  인 경우 0.046~0.38초 구간 사이에서 Seed의 지진기록의 값이 크게 나왔다. 또한  $\mu=6$ 인 경우 0~0.38 초 구간에서 Seed의 지진기록의 비탄성응답스펙트럼값이 크게 나왔다. 그 외의 경우를 제외한 구간에서는 Near field 지진기록의 비탄성응답스펙트럼값이 크게 나왔다. 주기 5초 일때의 두 지진기록의 비탄성응답스펙트럼값의 차이를 살펴보면  $\mu=2$ 인 경우 44.68%,  $\mu=4$ 인 경우 43.34%,  $\mu=6$ 인 경우 42.32% 로 장주기로 갈수록 Near field 지진기록의 비탄성응답스펙트럼값은 목표연성비에 그리 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

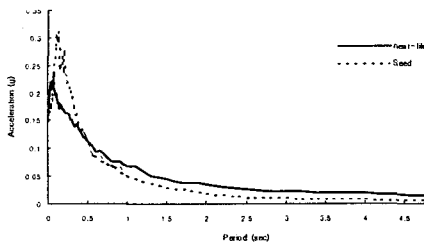


그림 6 목표변위연성비  $\mu=2$  인 경우 비탄성응답스펙트럼

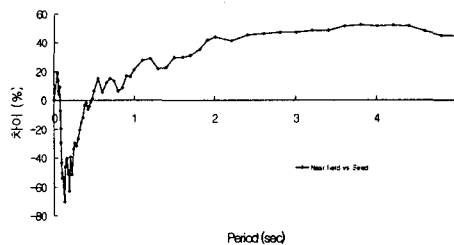


그림 9 목표변위연성비  $\mu=2$  인 경우 차이

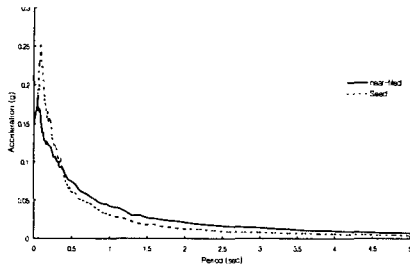


그림 7 목표변위연성비  $\mu=4$  인 경우 비탄성응답스펙트럼

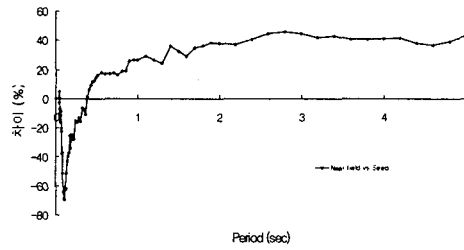


그림 10 목표변위연성비  $\mu=4$  인 경우 차이

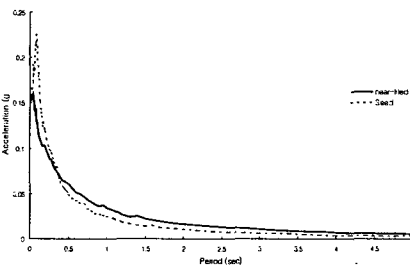


그림 8 목표변위연성비  $\mu=6$  인 경우 비탄성응답스펙트럼

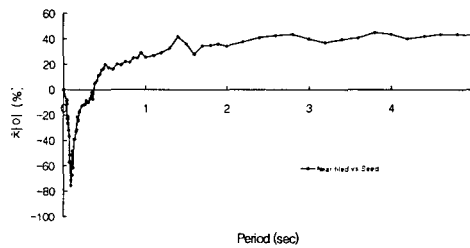


그림 11 목표변위연성비  $\mu=6$  인 경우 차이

#### 2.4 Near field 지진기록과 Seed의 지진 기록에 따른 성능점 비교

능력스펙트럼법(CSM)은 지진요구와 보유능력을 하나의 그래프로 표현하기 위하여 가속도변위응답스펙트럼(Acceleration Displacement Response Spectrum, ADRS) 형식을 사용한다. CSM에서 응답가속도( $S_a$ ), 응답변위( $S_d$ )로 표현되는 지진요구 및 보유능력은 각각 요구응답스펙트럼(Demand Spectrum) 및 능력스펙트럼(Capacity Spectrum)이라 정의된다. 또한 요구응답스펙트럼과 능력스펙트럼이 교차하는 점은 성능점(Performance point)이라하며 이 점에서의 지진요구와 보유능력은 같다. 즉, 성능점은 지진의 비탄성요구에 대한 구조물의 최대변위라 할 수 있다. 능력스펙트럼을 이용한 성능점 결정에서 능력스펙트럼 작성을 위해 사용한 구조물은 Chopra(1999)에 사용된 SDOF System 중 4개를 선정된 것으로 구조물의 특징은 표 3 과 같다. 본 연구에서는 선택된 지진자료를 PGA 0.3g, 0.45g, 0.6g로 보정후 능력스펙트럼법을 적용하여 각자유도 구조물에 대해서 성능점을 비교해 보았고 그 결과는 표 4, 5, 6, 7 과 같다.

표 3 각 단자유도 구조물의 특성

System properties			
System	$T_n$ (s)	$f_y \div w$	$u_y$ (cm)
01	0.5	0.1257	0.780
02		0.1783	1.106
03	1.0	0.0714	1.773
04		0.1733	2.562

표 4 System 01 에서의 성능점 비교

구분	Near field EQ 성능점(cm)	Seed EQ 성능점(cm)	오차(%)
PGA=0.30g	7.012	4.28	39.07
PGA=0.45g	16.25	8.15	49.86
PGA=0.60g	20.52	12.18	40.64

표 5 System 02 에서의 성능점 비교

구분	Near field EQ 성능점(cm)	Seed EQ 성능점(cm)	오차(%)
PGA=0.30g	4.50	3.60	19.90
PGA=0.45g	11.28	6.82	39.49
PGA=0.60g	19.30	10.71	44.50

표 6 System 03 에서의 성능점 비교

구분	Near field EQ 성능점(cm)	Seed EQ 성능점(cm)	오차(%)
PGA=0.30g	11.82	8.87	24.95
PGA=0.45g	25.54	13.29	47.19
PGA=0.60g	40.17	17.23	57.10

표 7 System 04 에서의 성능점 비교

구분	Near field EQ 성능점(cm)	Seed EQ 성능점(cm)	오차(%)
PGA=0.30g	7.64	5.86	23.22
PGA=0.45g	13.06	8.65	33.81
PGA=0.60g	20.48	12.71	37.94

Near field 지진기록에 의한 성능점과 Seed의 지진기록에 대한 성능점은 표에서 보는 바와 같이 Near filed 지진기록의 성능점이 19~50% 정도 큰 값을 갖는다. PGA 값이 클수록 두 지진기록에 대한 성능점의 차이가 커진다. 그리고 각각 4개의 System에서의 성능점은 Near field 의 지진자료에 대한 성능점이 항상 크게 나와 일반적으로 Near field 지진기록의 비탄성을 고려한 최대변위가 큼을 알 수 있다.

### 3. 결 론

1. 가속도의 탄성응답스펙트럼을 비교해본 결과 0.1~ 0.5초 주기를 가진 구조물이 Near filed 지진보다 Seed의 지진기록에 의해 더 큰 가속도 반응을 보임을 알 수 있었다.
2.  $R_{\mu}$  스펙트럼값의 비교에서는 Near filed 지진에서 요구하는  $R_{\mu}$ 이 건물주기 0~0.15초에서는 Seed의 지진기록의  $R_{\mu}$ 보다 33.05 ~ 50.52% 정도 크게 나왔고 건물주기 3초 이후의 구조물에서는 목표연성비  $\mu$  가 커질수록 Near field 지진의  $R_{\mu}$ 값이 Seed의 지진기록의  $R_{\mu}$  값보다 커짐을 알 수 있었다. 장주기로 갈수록 Near field 지진에 대한 건물의 요구 항복강도가 작아짐을 알 수 있었다.
3. 비탄성응답스펙트럼에서는 대략 주기 0.5초이후에 Near filed 지진의 응답스펙트럼값이 크게 나왔다.
4. Chopra(1999)에 사용된 4개의 System에서의 성능점 비교결과 4개의 System 모두에서 Near filed 지진의 성능점이 19.90~57.10% 크게 나왔고 PGA 값이 클수록 Seed의 지진기록의 성능점과의 오차율은 점점 더 커졌다.

전반적으로 볼 때 Near field 지진은 0 ~ 0.1초의 단주기의 구조물과 건물주기 3초 이후의 구조물에 더욱 큰 피해를 줄 수 있다는 결과를 얻을 수 있었고 이에 따라 이러한 주기를 가진 건물에 대하여 Near field 지진에 대한 구조물 해석시 고려해줄 필요가 있음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

이 연구는 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터의 지원으로 진행된 것으로 이에 감사를 표한다.

#### 참고문헌

1. Applied Technology Council (1984). Tentative provisions for the Development Seismic Regulations for Building, Report ATC 3-06.
2. BSSC " NEHRP Guideline for the Seismic Rehabilitation of Buildings," Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management, report No. FEMA 273, Washington D.C. Oct. 1997.
3. Chopra, A. K. and Goel, R. K., Capacity-Demand-Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures : SDF System", Report No. PEER -1999/02, UC, Berkeley, 1999