

## 지진지반운동의 수직성분을 고려한 중진지역 건축구조물의 지진응답평가

### Evaluation of Seismic Responses for Building in Moderate Seismicity Regions Considered Vertical Earthquake Ground Motions

한 덕 전\*  
Han, Duck-Jeon

고 현\*\*  
Ko, Hyun

#### 국문요약

최근의 근단층지반운동인 Northridge 지진(1994, 미국), Kobe 지진(1995, 일본), Izmit 지진(1990, 터키)은 큰 수직성분의 영향으로 건축물 및 교량에 심각한 손상을 주었다. 일반적인 건축구조물의 내진설계에서 지진하중의 수직성분을 고려하여 설계하는 경우는 드물다. 본 연구에서는 지진하중의 수직성분 영향의 고려 유무에 따른 예제구조물의 기둥부재의 축력의 변화와 부재 단부의 소성 현지회전각을 산정하여 시스템의 손상상태를 평가하여 보았다. 해석결과 축력의 증가는 기둥부재의 손상에 의한 전체 구조시스템의 story collapse mechanism의 가능성을 주게 되므로 근단층지반운동이 예상되는 부분에서는 지진하중의 수직성분에 대한 영향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

#### ABSTRACT

Recent earthquake, such as the Northridge(1994), the Kobe(1995) and the Izmit(1990) earthquakes, gave serious damage in various buildings and bridges by the vertical seismic component. Most of the seismic designs neglect the vertical seismic component for usual frame structures. The purpose of this study is to evaluate the effects of the vertical seismic component and to compare the axial force of columns and plastic rotation angle of the analytical models in these effects. The vertical seismic component produced a large increment of axial force in columns. And the vertical seismic component caused a significant increase of the damage in the columns. As analysis result, increase of axial force cause the damage of columns and give possibility of story collapse mechanism of the structure system. Therefore, area that near fault ground motion is expected may be consider the effect of vertical component of seismic ground motions.

키워드: 근단층지반운동, 중진지역, 수직성분, 축력, 소성현지회전각

Keywords: near fault ground motion, moderate seismicity regions, vertical component, axial force, plastic rotation angle

### 1. 서론

우리나라는 지진대의 활동이 약한 지역에 위치하고 퇴적토와 풍화토 및 풍화암이 발달한 지반특성을 가지고 있다. 우리나라는 비교적 양호한 지반으로 구성되어 있기 때문에 먼 진앙지에서 발생한 큰 지진보다는 중약진 수준의 근단층지반운동(Near Fault

Ground Motion, NFGM)이 우리나라 구조물에 피해를 입힐 가능성이 높다. 그러므로 가까운 진원거리에서 발생하는 지반운동에 대한 고려가 필요하며 중진지역 지진규모에서 발생 가능한 근단층지반운동에 대한 특성 및 이에 따른 구조물의 거동 특성에 대하여 연구할 필요가 있다.

근단층지반운동은 단층의 파열 진행 방향이 전단파의 진행 방향과 일치하며 근접한 속도를 가지면 이들의 간섭에 의하여 펄스형태의 속도파를 발생시킨다. 따라서 근단층지반운동이 발생할 경우에는 지반

\* 정희원 · 서일대학 건축과 교수, 공학박사

\*\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정  
Tel : 02-490-7430 Fax : 02-490-7427  
Email : Djhan30@seoil.ac.kr

운동의 최대가속도가 작더라도 속도 펄스에 의하여 구조물에 큰 소성변형이 발생하고 심각한 손상을 입을 수 있다.

기존 연구자들의 연구에서 근단층지반운동이 발생할 경우에는 지반운동의 최대가속도가 작더라도 속도 펄스에 의하여 구조물은 큰 손상을 입을 수 있으며 근단층지반운동에 의한 응답스펙트럼은 속도 민감 구간(velocity sensitive region)이 좁아지고 장주기 구간으로 이동하는 특징이 있다고 설명하고 있다<sup>1)</sup>. 근단층지반운동의 또 다른 특징으로는 지반운동의 수직성분의 영향이 크게 나타나는 것이다. 최근의 근단층지반운동인 Northridge 지진(1994, 미국), Kobe 지진(1995, 일본), Izmit 지진(1990, 터키)은 큰 수직성분의 영향으로 건축물 및 교량에 심각한 손상을 주었다<sup>2)</sup>. 이에 따라서 최근 강진지역을 중심으로 근단층지반운동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

원전구조물과 같은 특수한 구조물의 경우를 제외한 일반적인 건축구조물의 내진설계에서 지진하중의 수직성분을 고려하여 설계하는 경우는 드물다. 그 원인으로는 설계에서 적용되는 중력하중인 고정하중과 적재하중의 하중계수에 의하여 수직성분에 대한 안전율이 고려되기 때문이다. 그러나 최근의 근단층지반운동에 대한 건축물의 손상 및 붕괴상태를 살펴본다면 내진설계시 모든 경우에서 수직성분의 영향을 고려하지 않는다는 것은 타당하지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서는 구조물의 지진해석시 지진하중의 수직성분의 영향을 평가하기 위하여 중·약진지역의 지진위험도를 반영하기 위한 중진지역 수준의 지진하중으로 설계된 5층 철근콘크리트 모멘트저항골조를 PEER(Pacific Earthquake Engineering Research) Center에서 제공하는 해석프로그램인 OpenSees(Open System for Earthquake Engineering Simulation)<sup>3), 4)</sup>를 이용하여 비선형 시간이력해석을 수행하였다. 부재단면은 축력과 모멘트와의 상관관계를 고려하기 위하여 fiber 요소로 정의하였고 2차원 등가골조로 모형화하였다. 지진하중의 수직성분 영향의 고려 유무에 따른 기둥부재의 축력의 변화와 부재 단부의 소성힌지회전각을 산정하여 시스템의 손상상태를 평가하여 보았다.

## 2. 근단층지반운동 및 스펙트럼

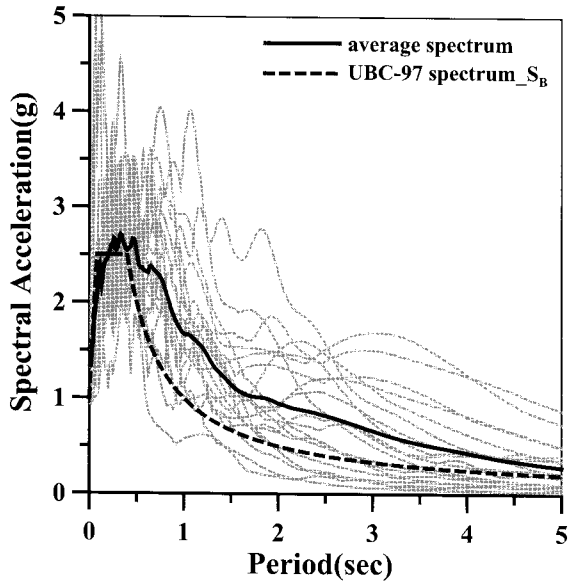
근단층지반운동의 특성을 살펴보기 위하여 강진 지역 및 국내의 지반가속도 중 적절한 근단층지반운동을 선정하여 응답스펙트럼을 작성하고 이를 분석하였다.

### 2.1 강진지역의 근단층지반운동 및 스펙트럼

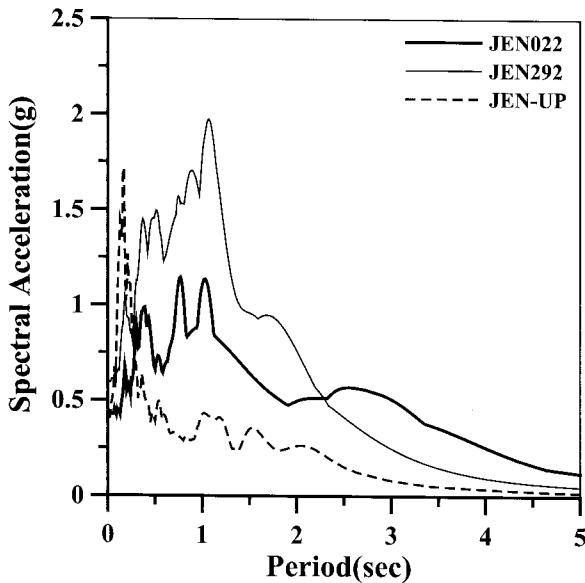
지진기록의 선택은 근단층지반운동의 특성을 살펴보기 위하여 Papageorgiou 등의 연구<sup>5)</sup>에서 사용된 10개의 근단층지반운동을 선정하였다. 각 지반운동에 관한 관측위치, 규모, 단층과의 거리, 최대가속도 등의 정보는 표 1에 나타내었다. 여기서 PGA(Peak Ground Acceleration), PGV(Peak Ground Velocity), PGD(Peak Ground Displacement)는 최대지반가속도, 최대지반속도, 최대지반변위를 의미한다. 10개의 각 지진하중의 유효 최대 지반가속도(Effective Peak Ground Acceleration, EPA)<sup>6)</sup>를 1g로 조정하여 응답스펙트럼 및 전체 평균값과 설계응답스펙트럼을 그림 1(a)에 나타내었다. 설계응답스펙트럼과 비교하여 전체적인 응답스펙트럼의 형태가 중간주기 구간으로 이동하는 특징이 나타나는 것을 알 수 있다. 지반운동 중 Northridge 지진의 각 방향성분의 가속도 응답스펙트럼을 그림 1(b)에 나타내면 수직성분의 크기가 수평성분과 비교하여 상당히 큰 것을 알 수 있다. 강진지역

〈표 1〉 강진지역의 근단층지반운동

번호	지반운동	관측위치	규모 (Mw)	진앙 거리 (km)	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
1	Parkfield, 1966	1013 Cholame #2	6.20	0.1	0.476	75.1	22.49
2	San Fernando, 1971	279 Pacoima Dam	6.55	3.0	1.226	112.5	35.50
3	Gazi, USSR, 1976	9201 Karakyr	6.80	3.0	0.608	65.4	25.29
4	Tabas, Iran, 1978	9101 Tabas	7.11	1.2	0.852	121.4	94.58
5	Coyote Lake, 1979	57383 Gilroy Array #6	5.63	1.2	0.434	49.2	7.77
6	Imperial Valley, 1979	5028 El Centro Array #7	6.50	1.8	0.463	109.3	44.74
7	Morgan Hill, 1984	57191 Halls Valley	6.37	3.0	0.312	39.4	7.66
8	Superstition Hills(B), 1987	01335 El Centro Imp.	6.40	13.6	0.358	46.4	17.50
9	Erzincan, Turkey, 1992	95 Erzincan	6.63	2.0	0.515	83.9	27.35
10	Northridge, 1994	0655 Jensen Filter Plan	6.70	5.2	0.424	106.2	43.6



(a) 근단층지진하중의 응답스펙트럼



(b) Northridge 지진의 응답스펙트럼

〈그림 1〉 근단층지반운동의 가속도 응답스펙트럼

의 근단층지반운동의 스펙트럼 형상을 살펴보면 중층 구조물에 큰 피해를 입힐 가능성이 있으며 지진해석할 때 수직성분의 영향을 고려하지 않는다면 건축물에 의도하지 않은 손상이 발생할 수 있다.

제측된 지진하중은 3방향의 성분으로 나눌 수 있으며 방향성분에 따른 최대지반가속도의 비율을 비교하기 위하여 위의 10개의 지진하중의 수평, 수직성분의 최대가속도를 정리하면 표 2와 같다. 표에서 PHGA(Peak Horizontal Ground Acceleration)는 두 개의 수평성분 중 최대가속도를 의미하며 PVGA(Peak Vertical Ground Acceleration)는 수

직성분의 최대가속도를 의미한다. 방향성분에 따른 최대지반가속도의 비율(V/H)을 보면 0.34~2.08의 범위를 나타내며 일반적으로 내진설계시 수직성분의 최대가속도를 설계스펙트럼의 1/3 수준으로 고려한다면 약 1~6.3배 정도를 과소평가하고 있다고 할 수 있다. 따라서 지반운동의 수직성분의 영향이 내진설계에서 무시할만한 수준이 아님을 보여준다.

번호	지반운동	PHGA (g)	PVGH (g)	V/H
1	Parkfield, 1966	0.476	0.255	0.54
2	San Fernando, 1971	1.226	0.699	0.57
3	Gazli, USSR, 1976	0.608	1.264	2.08
4	Tabas, Iran, 1978	0.852	0.689	0.81
5	Coyote Lake, 1979	0.434	0.146	0.34
6	Imperial Valley, 1979	0.463	0.544	1.17
7	Morgan Hill, 1984	0.312	0.110	0.35
8	Superstitt Hills(B), 1987	0.358	0.128	0.36
9	Erzincan, Turkey, 1992	0.515	0.248	0.48
10	Northridge, 1994	0.424	0.399	0.94

〈표 2〉 각 방향성분의 최대지반가속도

## 2.2 국내의 근단층지반운동 및 스펙트럼

국내의 근단층지반운동의 특성을 살펴보기 위하여 기상청의 자료를 근거하여 진앙거리 20km 이내, 규모 3.0 이상인 근단층지반운동을 선정하였다. 각 지반운동에 관한 관측위치, 규모, 단층과의 거리 등의 정보는 표 3에 나타내었다. 위의 방법과 동일하게 10개의 각 지진하중의 유효최대지반가속도를 1g로 조정하여 응답스펙트럼 및 전체 평균값과 설계응답스펙트럼을 그림 2(a)에 나타내었다. 전체적인 응답스펙트럼의 형태가 단주기 구간에 분포되어 있어서 강진 지역의 근단층지반운동의 응답스펙트럼과는 다른 형태를 보였다. 이것은 우리나라가 비교적 양호한 지반으로 구성되어 있기 때문에 지반특성의 영향에 따른 것으로 판단된다. 지반운동 중 10번째 2006-03-19 지진의 각 방향성분의 가속도 응답스펙트럼을 그림 2(b)에 나타내면 강진지역의 근단층지반운동의 특성과 유사하게 수직성분의 크기가 수평성분과 비교하여 상당히 큼을 알 수 있다. 마찬가지로의 방법으로 10개의 지진하중의 수평, 수직성분의 최대가속도를 정리

하고 방향성분에 따른 최대지반가속도의 비율(V/H)을 보면 0.46~1.00의 범위를 나타낸다. 그러므로 근단층지반운동의 경우는 지반운동의 수직성분의 영향이 내진설계에서 무시할만한 수준이 아님을 보여주며 특히 건축구조설계기준에서 제시하는 내진설계범주 'D'로 분류된 구조물의 수평 내진보와 프리스트레스를 받는 수평요소는 고정하중의 20% 이상에 해당하

는 상향하중에 저항할 수 있도록 설계하는 것은 지반운동의 수직성분을 과소평가한다고 볼 수 있다.

### 3. 예제구조물 및 지진하중

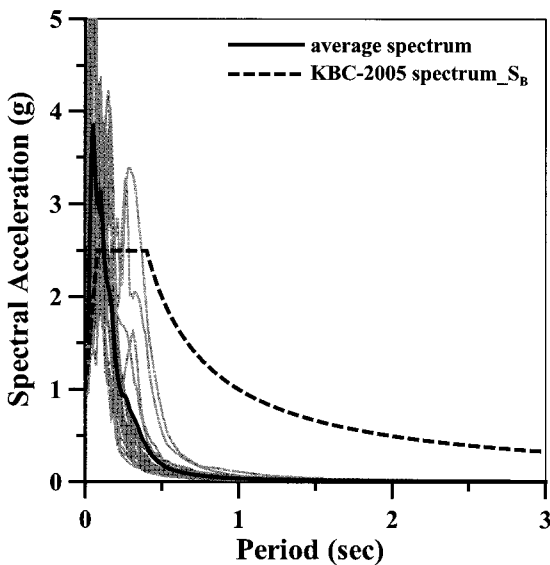
중·약진지역의 지진위험도를 반영하기 위하여 RC모멘트저항골조를 중진지역 수준의 지진위험도를

〈표 3〉 국내의 근단층지반운동

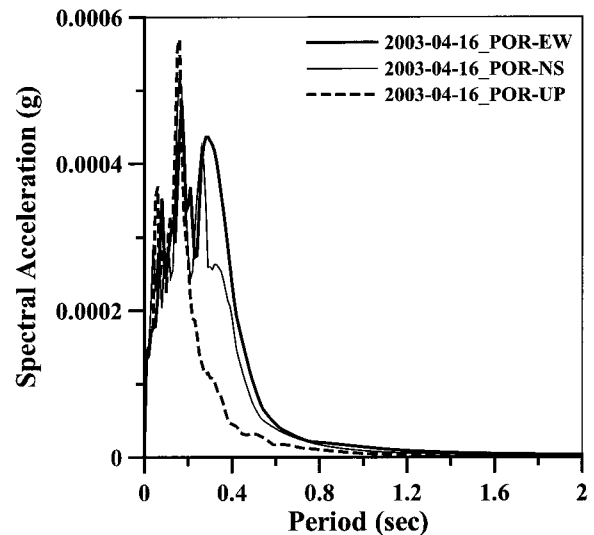
번호	지반운동		관측위치	규모 (Mw)	진앙설명
1	2001-01-29	11:44:07	전주(CHO)	3.0	전북 부안 서쪽 약 10km 지역
2	2001-07-23	17:29:14	청주(CEJ)	3.5	경북 상주 서쪽 약 15km 지역
3	2001-08-24	11:12:03	영천(YOC)	3.1	경북 성주 서쪽 약 10km 지역
4	2002-08-06	07:32:39	고흥(KOH)	3.0	전남 고흥 북동쪽 약 15km 지역
5	2003-03-10	03:28:03	구미(KUM)	3.1	경북 구미 동쪽 약 10km 지역
6	2003-04-16	02:55:25	보령(POR)	3.3	충남 안면도 남서쪽 약 10km 해역
7	2004-08-06	05:32:53	전주(CHO)	3.3	전북 전주시 북동쪽 약 15km 지역
8	2005-11-15	09:10:49	태백(TAB)	3.0	강원 영월군 동쪽 약 19km 지역
9	2006-01-19	12:35:34	태백(TAB)	3.2	강원 영월군 동쪽 약 20km 지역
10	2006-03-19	13:59:47	대전(TEJ)	2.9	대전 서구 서남서쪽 2km 지역

〈표 4〉 각 방향성분의 최대지반가속도

번호	지반운동		PHGA (g)	PVGH (g)	V/H
1	2001-01-29	11:44:07	0.0021	0.0011	0.52
2	2001-07-23	17:29:14	0.0047	0.0034	0.72
3	2001-08-24	11:12:03	0.0009	0.0005	0.56
4	2002-08-06	07:32:39	0.0002	0.0002	1.00
5	2003-03-10	03:28:03	0.0086	0.0052	0.60
6	2003-04-16	02:55:25	0.0001	0.0001	1.00
7	2004-08-06	05:32:53	0.0126	0.0058	0.46
8	2005-11-15	09:10:49	0.0102	0.0056	0.55
9	2006-01-19	12:35:34	0.0108	0.0074	0.69
10	2006-03-19	13:59:47	0.0114	0.0079	0.69



(a) 근단층지진하중의 응답스펙트럼



(b) 2003-04-16 지진의 응답스펙트럼

〈그림 2〉 국내 근단층지반운동의 가속도 응답스펙트럼

가지도록 설계하였고 하중에 관한 설계기준은 UBC-977)을 적용하였다.

### 3.1 설계조건

본 연구에서 지반운동의 수직성분 영향의 고려 유무에 따른 모멘트저항골조 구조물의 거동을 조사하기 위하여 그림 3에서 보는 바와 같은 5층 철근콘크리트 모멘트저항골조를 예제구조물로 선정하였다. 예제구조물의 평면 및 입면은 그림 3과 같다. 고정하중과 적재하중은  $5.5\text{kN/m}^2$ ,  $2.5\text{kN/m}^2$ 을 적용하였다. 풍하중과 지진하중은 UBC-97을 따르고 기본풍속은 70 mph으로 가정하였다. 지진하중의 산정은 지반종류 SB, 중요도계수 1.0로 가정하였다. 중진지역 수준의 지진위험도의 비탄성응답을 살펴보기 위하여 지진구역 2B(Moderate Seismicity Region, MSR)로 설계하였고 구조시스템은 특수모멘트저항골조(Special Moment Resisting Frame, SMRF)로 반응수정계

수는 8.5를 사용하였다. 설계된 각 주요부재의 단면의 위치와 단면정보는 그림 3과 표 5에 나타내었다.

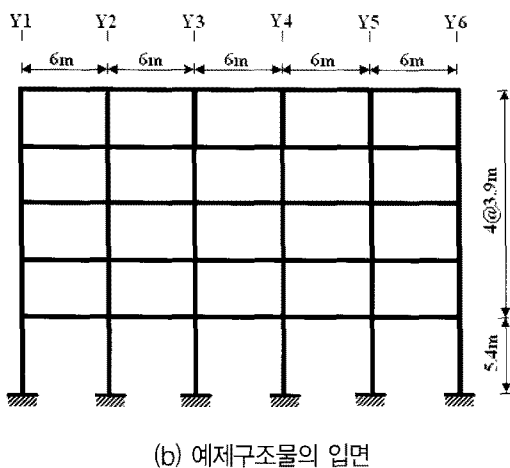
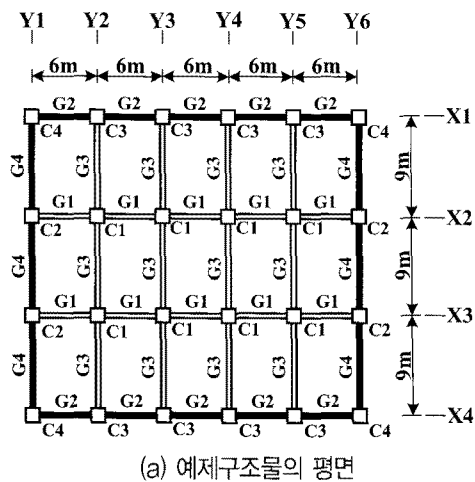
〈표 5〉 주요부재의 단면정보(MSR) (단위: mm)

기둥	층	단면크기	보	층	단면크기
C1	1~2	500 × 500	G1	1~2	500 × 300
	3~5	400 × 400		3~4	
				5	
C2	1~2	500 × 500	G2	1~2	500 × 300
	3~5	400 × 400		3~4	
				5	
C3	1~2	500 × 500	G3	1~2	600 × 300
	3~5	400 × 400		3~4	
				5	
C4	1~2	400 × 400	G4	1~2	600 × 300
	3~5	400 × 400		3~4	
				5	

### 3.2 예제구조물의 해석모델

비선형시간이력해석은 OpenSees를 이용하여 예제모델의 x-방향에 대하여 수행하였다. x-방향의 횡하중에 대하여 X1~X4의 모든 골조가 횡저항골조로 하중에 저항하지만 그림 3(a)에서 보는 것과 같이 x 축에 대하여 대칭이므로 모형화의 편의상 x-방향의 두 개의 횡하중 저항골조를 그림 4에서 보는 것과 같이 무한강성의 트러스를 이용하여 2차원 등가골조모델로 모형화하였다. 콘크리트의 항복강도는 24 MPa, 철근의 항복강도는 400 MPa로 정의하였다. 부재단면의 모형화에서 기둥의 피복과 보의 경우는 비구속콘크리트의 물성을 적용하였으며 기둥의 코어 부분은 횡철근에 의하여 구속되어 있기 때문에 구속콘크리트의 특성을 적용하였다. 구속콘크리트의 응력-변형률의 관계는 횡철근의 배근에 따라서 구한 유효 최대횡압력과 구속콘크리트의 압축력을 이용하여 구속콘크리트의 응력-변형률의 관계를 구하는 Paulay와 Priestley의 방법을 이용하였다<sup>8)</sup>.

비선형 시간이력해석에 사용되는 지진하중을 조정하는 방법은 다양하지만 유효최대지반가속도(Effective Peak Ground Acceleration, EPA)가 최대지반가속도(PGA)보다 지진하중이 구조물의 응답에 미치는 영향을 잘 반영할 수 있기 때문에 본 논문에서는 유효최대지반가속도로 조정하는 방법을 적용



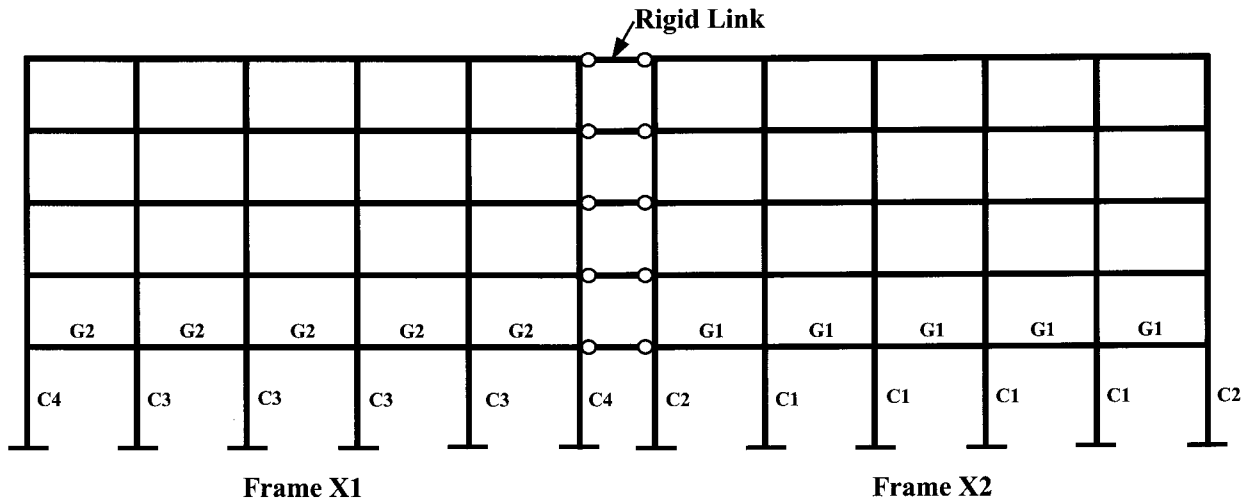
〈그림 3〉 예제구조물 평면 및 입면

하였다. 국내의 계측된 지진자료는 최대지반가속도가 현저히 작아서 중진지역 수준의 지반가속도를 가지는 데이터로 평가하기가 어렵다. 그러나 국내지진기록의 frequency content가 중진지역의 frequency content와 유사할 것으로 가정한다면 조정된 지진하중을 적용한 구조물의 응답은 중진지역의 지진응답을 나타낸다고 볼 수 있을 것이다. 그러므로 비선형 시간이력해석의 지진하중은 그림 5, 6과 같이 각 지진하중의 수평성분의 유효최대지반가속도를 설계에서 고려한 지진하중 수준의 지진구역 2B인 0.2g로 유효최

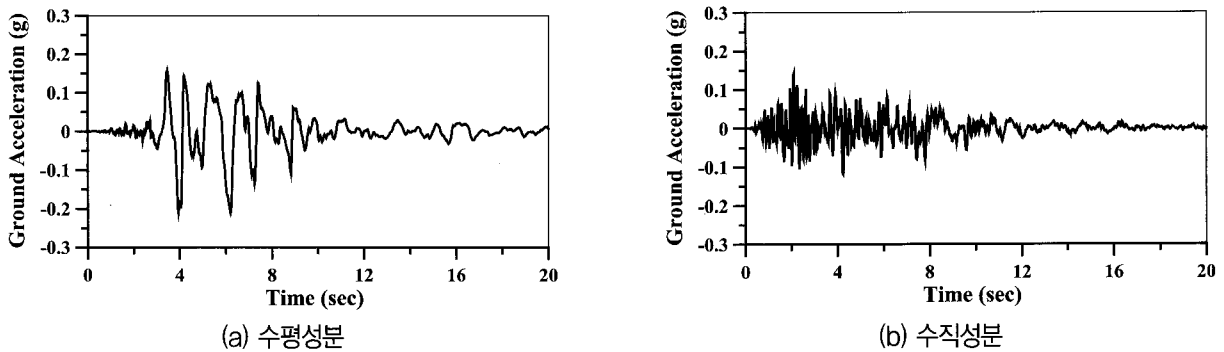
대지반가속도를 조정하여 사용하였다. 이때의 조정계수를 수직성분에도 동일하게 적용하여 지진하중을 조정하였다.

#### 4. 비선형시간이력 해석결과 비교

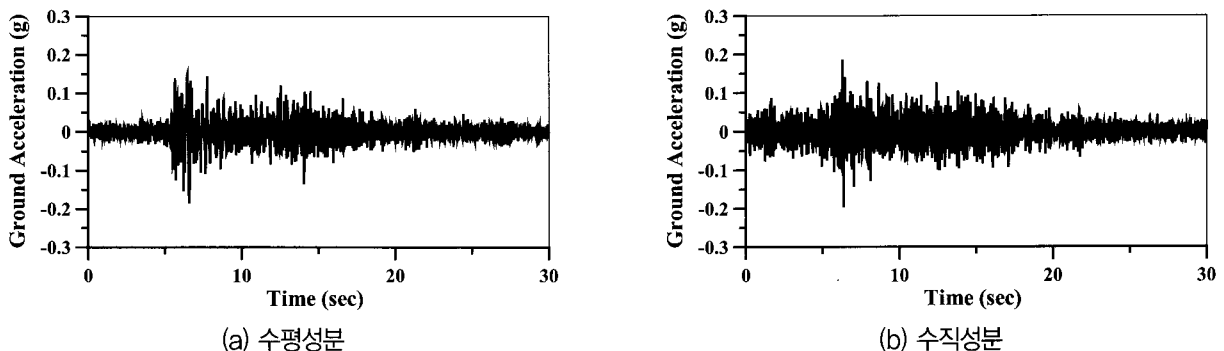
강진지역과 국내지역의 근단층지반운동을 가지고 수직성분 영향의 고려 유무에 따른 비선형시간이력해석을 수행하였다. 각 경우의 힘-변위 관계, 기둥의 부재력, 소성힌지회전각 분포상태를 비교하였다.



〈그림 4〉 2차원 등가골조모델



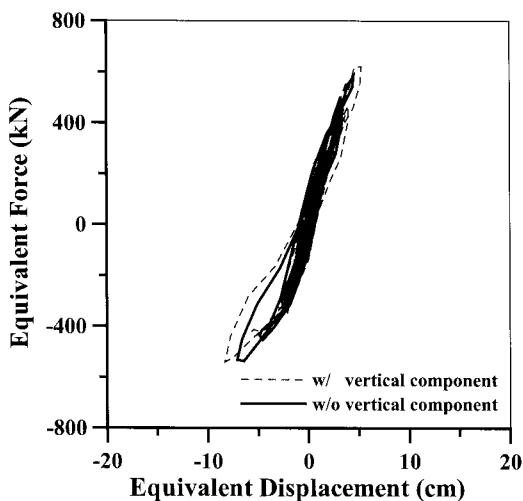
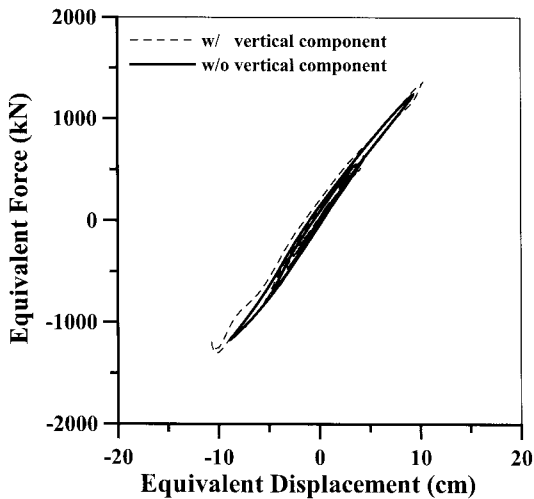
〈그림 5〉 입력지진하중 (Northridge EQ EPA=0.2g)



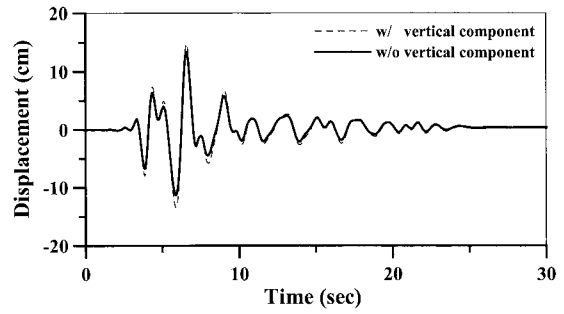
〈그림 6〉 입력지진하중 (2003-04-16 POR EQ EPA=0.2g)

### 4.1 예제구조물의 힘-변위 관계

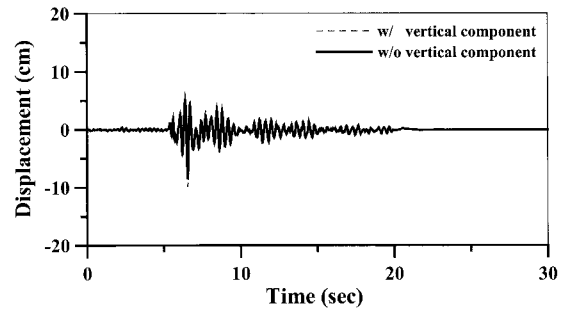
힘-변위 관계는 등가응답과 등가저항력<sup>9)</sup>을 가지고 정의하였으며 그림 7(a), (b)와 같다. 본 논문에서 그래프의 범례를 지반운동의 수직성분을 고려한 경우 (with vertical component)는 w/ 로 표시하였으며 수직성분을 고려하지 않은 경우(without vertical component)는 w/o로 표시하였다. 지진하중의 수직성분을 고려하면 층전단력, 층변위의 증가를 보였으나 그 크기가 크지 않았으며 해석결과에서 그림 8의 최상층의 변위이력뿐만 아니라 층별 최대변위, 층간 변위 등 횡변위에는 수직성분이 큰 영향을 미치지 않았다.



(b) 2003-04-16 POR EQ  
 <그림 7> 예제구조물의 힘-변위 관계



(a) Northridge EQ



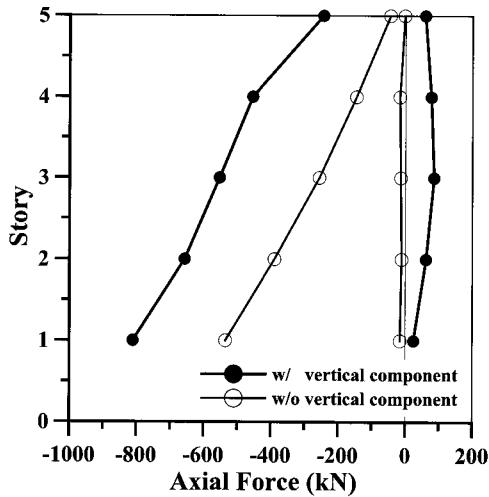
(b) 2003-04-16 POR EQ

<그림 8> 최상층 횡변위 시간이력

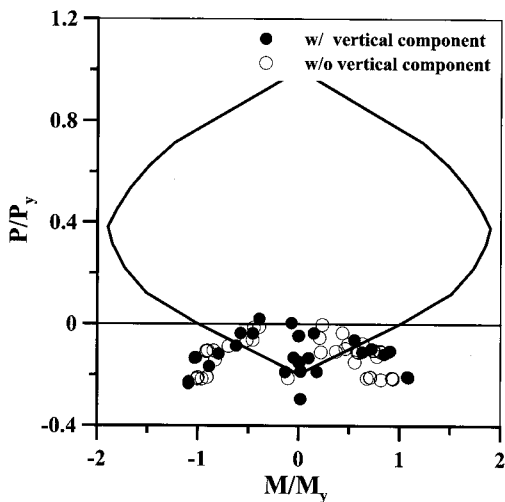
### 4.2 기둥의 축력분포 및 P-M 상관곡선

기둥부재의 축력변화를 지반운동 수직성분의 영향의 고려유무에 따라서 비교하기 위하여 그림 4에서 외곽기둥(C4)을 선택하여 층에 따른 축력의 분포를 그림 9에 나타내었다. 여기서 축력의 양의 값은 인장력을 나타내며 음의 값은 압축력을 나타낸다. 지진하중의 수직성분을 고려하지 않은 경우에는 기둥의 최대, 최소축력은 항시 압축력으로 작용하고 있으나 지진하중의 수직성분을 고려하면 최대축력으로 압축력은 증가하고 최소축력으로 축력이 역전되어 인장력이 발생하는 현상을 나타내었다. 그러므로 수직성분은 기둥부재의 축력의 변동을 유도하며 인장력을 발생시키는 것을 볼 수 있다. 또한 압축력의 증가는 부재의 모멘트 저항능력을 감소시킬 수가 있으므로 기둥부재의 변형능력을 감소시킬 수 있다.

그림 10은 1층 기둥의 축력-모멘트의 상관곡선을 나타내었다. 지반운동 수직성분의 영향을 고려한 경우에는 골조의 내부기둥의 압축력은 증가하였지만 최대압축력을 받는 경우에 양단에서 발생하는 모멘트의 양이 줄어드는 현상이 발생하였다. 그리고 외부기둥

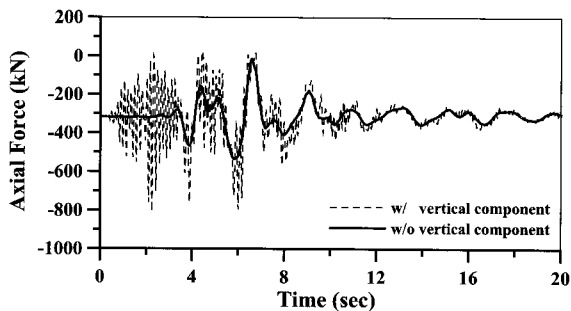


〈그림 9〉 외곽기둥(C4)의 축력분포 (Northridge EQ EPA=0.2g)

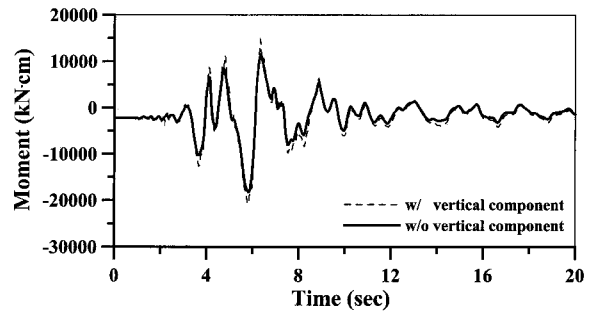


〈그림 10〉 1층 기둥의 P-M 상관곡선 (Northridge EQ EPA=0.2g)

의 경우는 축력이 역전되어 인장력을 받는 기둥부재가 발생하거나 최대압축력을 받는 경우에 양단에서 발생하는 모멘트의 양이 늘어서 부재의 항복모멘트를 초과하는 현상이 발생하였다.



〈그림 11〉 1층 외곽기둥의 축력 시간이력



〈그림 12〉 1층 외곽기둥의 모멘트 시간이력

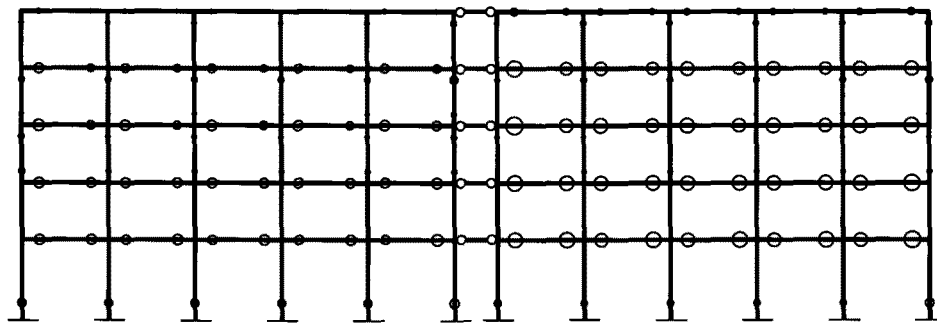
### 4.3 소성힌지 분포

수직성분의 고려유무에 따라서 시스템의 소성힌지 분포를 평가하기 위하여 그림 13과 같이 나타내었다. 모형화할 때 소성힌지는 부재의 양단에 발생하는 것으로 가정하였으며 그림 13에서 원의 위치가 각 부재의 소성힌지회전각이 발생하는 위치이다. 그림에서 원의 크기가 클수록 부재단부에 발생하는 소성힌지회전각의 값이 커지는 것을 표현하며 이것은 시스템이 큰 소성변형이 발생한다는 것을 의미한다. 수직성분을 고려한 경우는 그림 13과 같이 구조물의 중간층의 기둥부재단부에 소성힌지가 발생함을 알 수 있다. 이것은 축력-모멘트의 상관관계에 따라서 기둥부재의 예상치 못한 축력의 증가에 따른 모멘트의 저항능력이 감소되었기 때문으로 판단된다. 해석시 수직성분의 영향을 고려하지 않는다면 설계지진하중보다 더 큰 지진하중이 발생할 경우에는 중간층에서 story collapse mechanism이 발생할 수 있을 가능성을 보여준다. 다시 말하면 구조부재의 부분적인 손상에 의하여 전체 시스템의 파괴를 유발할 수 있다. 그리고 보부재보다는 기둥부재의 손상이 더 진행되었으며 시스템 전체적으로 낮은 연성능력을 보유하게 되었다.

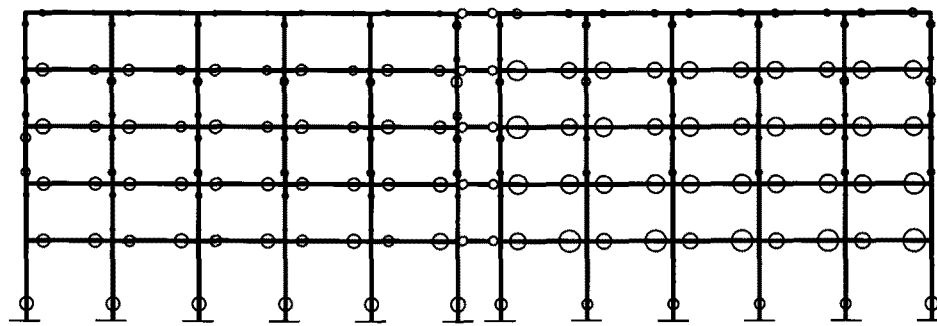
### 5. 결론

본 연구에서는 근단층지반운동의 가속도 응답스펙트럼의 특성을 분석하고 중앙지역의 지진위험도를 반영하기 위하여 중진지역 수준의 지진하중으로 설계된 모멘트저항골조의 비선형 시간이력해석을 수행하여 지진하중의 수직성분 영향의 고려 유무에 따른 기둥부재의 축력의 변화 및 부재 단부의 소성힌지회전각을 산정하여 시스템의 손상상태를 평가하였다.





(a) 수직성분을 고려하지 않은 경우



(b) 수직성분을 고려한 경우

〈그림 13〉 시스템의 소성한지 분포 (Northridge EQ EPA=0.2g)

본 연구에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) 강진지역의 근단층지반운동의 가속도 응답스펙트럼의 특성은 중간주기 구간으로 이동하는 특징이 나타나며 수직성분의 크기가 수평성분과 비교하여 상당히 큼을 알 수 있다. 강진지역과는 다르게 국내지역의 근단층지반운동의 가속도 응답스펙트럼의 특성은 단주기 구간의 성분이 컸으며 수직성분의 크기는 강진지역의 근단층지반운동의 특성과 유사하였다.
- 2) 해석시 지진하중의 수직성분을 고려하면 층전단력, 층변위의 증가를 보였으나 그 크기가 크지 않았으며 최상층의 최대변위, 층별 최대변위, 층간변위 등 횡변위에는 수직성분이 큰 영향을 미치지 않았다.
- 3) 수직성분을 고려하게 되면 축력의 변동을 초래하게 되므로 기둥부재의 인장, 압축력이 더 커지게 된다. 축력-모멘트의 상관관계의 의하여 축력의 증가는 기둥부재의 변형능력을 감소시키는 원인이 된다.

- 4) 축력의 증가는 기둥부재의 손상에 의한 전체 구조시스템의 story collapse mechanism의 가능성을 주게 되므로 근단층지반운동이 예상되는 부분에서는 지진하중의 수직성분에 대한 영향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 2007년도 서일대학 학술연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Chopra, A. K. and Chintanapakdee, C.(2001). Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30, 1769-1789
2. Papazoglou, A. J. and Elnashai, A. S.(1996). Analytical and field evidence of the damaging effect of the vertical earthquake ground motion, Earthquake Engineering and

- Structural Dynamics, 25, 1109-1137
3. OpenSees(2006). Open System for earthquake engineering simulation(opensees.berkeley.edu), Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California
4. Silvia Mazzoni, Frank MacKenna and Michael H. Scott,(2006). OpenSees Command Language Manual, Pacific Earthquake Engineering Research Center
5. Mavroeidis, G. P., Dong, G. and Papageorgiou, A. S.(2004) Near-fault ground motions, and the response of elastic and inelastic single-degree-of-freedom (SDOF) systems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1023-1049
6. Applied Technology Council(1984). Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, ATC 3-06 Report, Redwood city, California
7. International Conference of Building Officials(1997). Uniform Building Code, Whittier, California
8. Paulay, T. and Priestley, M. J. N.(1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, John Willey & Sons, Inc.
9. Lee Dong-Guen, Song Jong-Keol and Yun Chung-Bang(1996), Estimation of system-level ductility demands for multi-story Structures, Engineering Structures, 19(12), 1025-1035

접수일자 : 2008년 11월 10일

심사완료일자 : 2009년 1월 18일

게재확정일자 : 2009년 1월 22일