

# 일반 모멘트 저항 철골조의 지진 응답 해석

## Earthquake Response Analysis of Ordinary Moment Resisting Steel Frames

윤 명 호\*

Yoon, Myung-Ho

### Abstract

Allowable stress design method have been most widely used in steel structure in Korea. Recently, not only high-rise buildings but also medium or low-rise buildings were designed as steel structure. Most of low-rise steel buildings are designed as ordinary moment resisting frames(MRF). But MRFs don't have any lateral force resisting devices such as bracing in braced frames.

This study focuses mainly on nonlinear seismic response analyses of small scale steel frames which will be used later as specimens for the evaluation of MRF's seismic performances. The main parameters of analyses are arrangement of column axis, P-Δ effect, acceleration factor etc.

The object of this paper is to estimate the seismic performances of MRFs, which are mostly designed in Korea, through the results of response analyses.

키워드 : 모멘트 저항골조, 비선형 응답해석, 내진성능

Keywords : moment resisting frame(MRF), nonlinear response analysis, seismic performances

## 1. 서 론

우리나라는 철골구조를 설계할 때 허용응력도 설계법이 널리 사용되고 있다. 최근에는 고층 건물 뿐만 아니라 중저층 건물도 철골 구조로 많이 설계하고 있다. 대부분의 중저층 건물은 일반 모멘트 저항골조로 설계하고 있다. 그러나 일반 모멘트 저항 골조는 가새 골조와는 달리 특별한 횡력 저항 장치를 가지고 있지 않다.

본 연구는 일반적인 모멘트 저항방식의 철골 골조에 대한 내진성능을 평가하기 위한 진동대 실험용 축소 모델 실험체에 대한 비선형 응답해석을 주된 내용으로 하고 있다. 주된 해석 변수는 기둥의 강약축 배치, P-Δ효과, 가속도 배율 등이다.

연구의 목적은 응답해석 결과를 통해 현재 우리나라에서 가장 많이 설계되고 있는 일반 모멘트 저항 철골조의 보유 내진 성능을 평가하는 것이다.

## 2. 실험체 및 해석모델 계획

### 2.1 실험체 계획을 위한 가정

실험체 제작을 위한 기준이 되는 구조물로는 지하층이 없는 지상 10층의, 1차 고유주기( $T_n$ )가 약 1(sec) 정도의 철골 모멘트 골조를 대상으로 하였으며 진동대 실험을 위하여 다음과 같은 가정 아래 축소모델을 계획하였다.

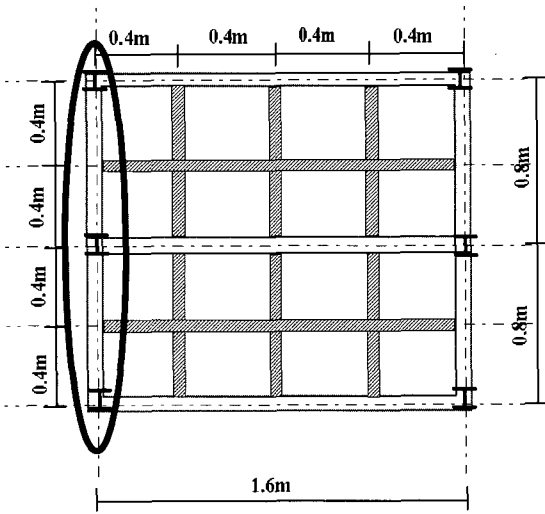
- 1) 약기둥·강보의 기둥항복형 골조이다.
- 2) 10층 건물의 중앙부 기둥이 받는 축력을 기둥단면이 지니는 항복축력의 20%라고 가정하여, 축소 모델의 기둥이  $0.2N_y$ 를 유지하도록 한다.
- 3) 기둥을 강축방향과 약축방향으로 둔 두 가지 모델을 제작함으로써 서로 다른 두 가지 고유주기를 가진 건물에 대한 해석을 실시한다.
- 4) 모델에 부가되는 질량은 기둥축력  $0.2N_y$ 를 유지하도록 한다.

### 2.2 실험체 계획

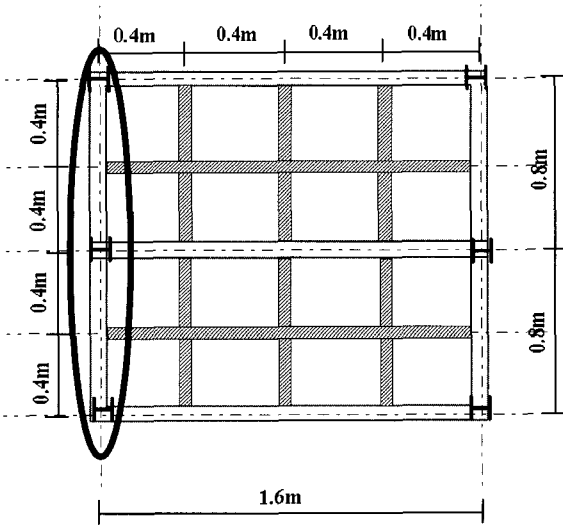
가정을 통하여 결정된 실험체의 평면은 그림 7-1에 나타내었다. 실험체의 기둥은 가정에서와 같이 강축방향과 약축방향으로 각각 배치되었으며 이로써 두 실험체는 각기 다른 고유주기를 갖게 된다. 해석대상이 되는 평면골조를 그림 2.1에 표시하였다.

\* 정희원, 천안공업대학 건축과 교수, 공학박사, 건축구조기술사

계획된 실험체를 바탕으로 상부에 부가되는 질량을 그림 2.2에 보이는 것처럼 각 기둥-보 절점에 질점으로 이상화 하였다. 중앙부 기둥의 0.2Ny를 유지하기 위해 부가되는 전체 질량은 6.4tonf이며 이를 그림 2.2와 같이 각 기둥에 배분하였다. 실험체의 층고는 1.1m이다.



(a) 강축방향 기둥배치



(b) 약축방향 기둥배치

그림 2.1 실험체 평면계획(타원 부분이 해석 모델)

실험체는 약기둥-강보의 구조체로 기둥의 항복이 구조체의 항복을 지배하므로, 기둥에 대한 단면성능을 산정하여 표 2.1에 나타내었다.

표 2.1 부재치수 및 기둥단면성능

부재단면	보	H-75×32×3.2×4.5(강축)
	기둥	H-40×40×2.3×3.2(강축&약축)
기둥 축력	항복축력	8 tf
	0.2Ny	≒ 1.6 tf
실험체 종류	강축방향	약축방향
My(0.2Ny)	11.32 (tf · cm)	4.14 (tf · cm)
Mp	12.86 (tf · cm)	6.25 (tf · cm)

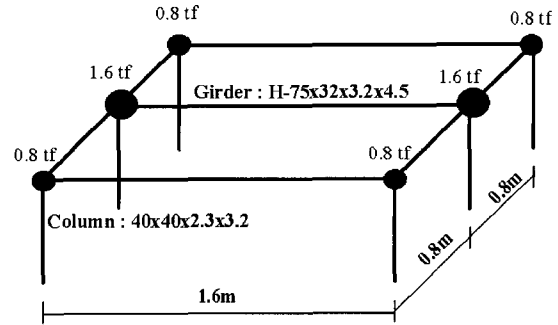


그림 2.2 실험체 3D모델

### 2.3 해석모델의 계획

해석을 위한 평면 골조 모델로는 그림 2.1에 타원으로 표시된 부분을 그림 2.3과 같이 가정하였다. 해석 모델은 0.8m 스패의 2경간 평면 골조이며, 지반의 경계조건은 그림에서와 같이 고정으로 가정하였다. 그림에서 원안의 숫자는 해석상의 부재번호를, 사각형 안은 절점번호를 나타내며, 지진동의 입력방향은 화살표로 표시한 것과 같다.

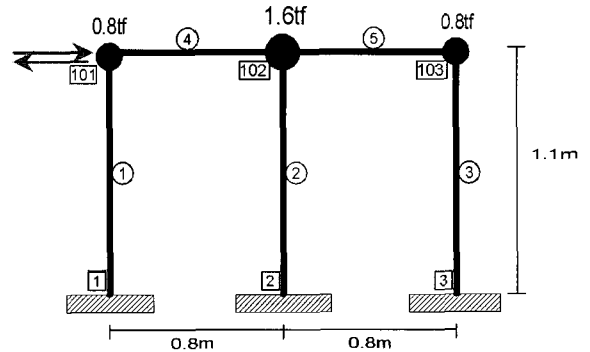


그림 2.3 해석대상 2D모델

### 3. 탄소성 정적해석

실험체의 수평보유내력을 평가하기 위하여 비선형 해석 프로그램인 DRAIN-2DX를 이용하여 Push-over(일방향가력해석법) 해석을 실시하였다.

3.1 해석 방법

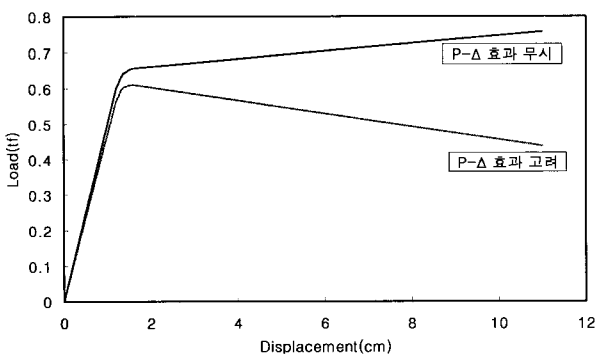
Push-over Analysis를 통하여 해석 모델에 목표 변위까지 일방항가력을 실시함으로써 구조물의 항복하중 및 항복변위를 알아낼 수 있다. 목표 변위는 실험체 높이의 10%에 해당하는 11cm까지로 하고 변위증분을 0.02cm씩으로 하여 지진동 입력방향과 동일한 방향으로 목표변위까지 일방항가력하였다.

3.2 해석 결과

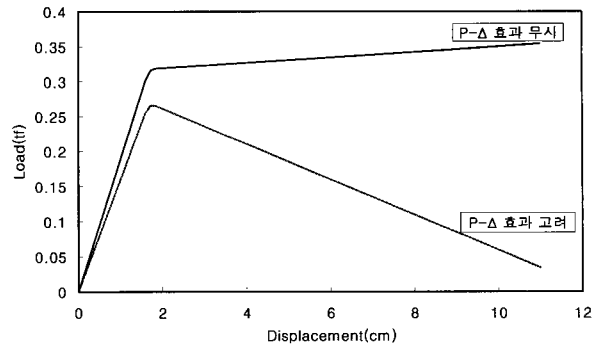
그림 2.3에 나타난 해석 대상 평면 골조에서 절점 101, 102, 103은 절점 101을 Master Node로 하여 Slaving시켜 두었다. 이는 본 해석이 진동대 실험시 실험체의 거동을 예측하기 위한 예비해석인 점을 감안하여 실험체가 약기둥-강보로 제작되었으며 실험체 위에 부가질량이 재하될 경우 지붕층은 보와 함께 일체 거동할 것임을 고려한 것이다. 따라서 본 Push-over 해석에서는 절점 101에 수평하중을 재하하면서 절점 103에서 그 변위를 측정하였고 이를 통해 얻어진 Q-δ관계를 그림 3.1에 나타내었다. 그림에서 강축 방향 배치와 약축 방향 배치는 각각 P-Δ효과를 고려한 경우와 무시한 경우로 나뉘어 있다. P-Δ효과를 무시한 경우는 실험체가 1층 골조인 점을 고려하여 실험체의 거동을 예측하고자 함이며, P-Δ효과를 고려한 경우는 본 실험체가 10층 골조를 기준으로 한 축소모델로 기둥 단면의 크기가 작으며 부가되는 질량이 큰 점을 고려한 것이다.

표 3.1 항복전단력(QY) 및 항복변위(δY)

구분		항복전단력(tf)	항복변위(cm)
강축방향 기둥배치	P-Δ효과를 무시	0.65	1.42
	P-Δ효과를 고려	0.60	1.42
약축방향 기둥배치	P-Δ효과를 무시	0.32	1.76
	P-Δ효과를 고려	0.27	1.76



(a) 강축방향 기둥배치



(b) 약축방향 기둥배치

그림 3.1 Push-over 해석에 의한 Q-δgraph

4. 탄소성 지진응답 해석

4.1 해석 방법 및 입력지진동

정적해석에서 사용된 동일 모델을 대상으로 비선형 지진응답해석을 수행하였다. 해석을 수행하는 데는 DRAIN-2DX가 사용되었으며, 해석에 사용된 지진파는 TAFT 지진파의 EW성분으로 원지진동의 가속도 파형은 그림 4.1과 같다.

실험체의 거동을 예측하기 위하여 입력지진파를 세 가지로 분류하였다. 그 첫 번째는 실험체가 탄성한계에 이르는 가속도로 DRAIN-2DX 프로그램을 사용하여 결정되었으며, 두 번째는 우리나라가 규준에 맞추어 지진파의 최대가속도가 120gal이 되도록 스케일조정하였다. 마지막으로 해석에 사용된 원지진동을 적용하여 해석을 수행하였다. 분류된 지진파에 따른 기호 지정에 관해서는 표 4.1에 나타내었다.

표 7-3 해석 대상 지진동

기호	지진파 내용	입력 가속도		
		강축방향	P-Δ 무시	P-Δ 고려
TF-EL	TAFT EW파 (실험체 탄성한계)	P-Δ 무시	51.7 gal	38.7 gal
		P-Δ 고려	26.2 gal	26.4 gal
TF-120	TAFT EW파 (120gal로 가속도 조정)	120 gal		
TF-OR	TAFT EW 원파	175.9 gal		

4.2 모드해석

해석 모델에 대한 모드 해석을 실시하여 실험체가 가지는 고유주기를 점검하였다. 진동대 상황에 따라 실험체의 고유주기는 0.5sec 이상이 되어야 결과에 대한 신뢰성을 가질 수 있으므로 해석 모델에 대한 모드 해석을 통하여 이를 확인하였다. 모드 해석을 통해 결정된 모델의

고유주기는 표4.2에 나타나있으며, 진동대 실험시에는 강성의 변화에 따른 고유주기의 변화를 통해서 실험체의 파괴진행 상황을 확인할 수 있다.

표 4.2 해석 모델의 고유주기

구 분		강축방향	약축방향
Tn (sec)	1차 고유주기	0.51	0.83
	2차 고유주기	0.01	0.01

### 4.3 해석 모델의 변위이력

해석 모델에 대한 비선형 응답해석결과를 변위이력곡선으로 각 경우에 대하여 그림 4.2에서 그림 4.5까지 나타내었다. 그림에서 횡축은 해석시간(30 sec)을, 종축은 지진파에 따른 변위를 나타내고 있다. 감쇠는 강성 비례형과 질량 비례형을 동시에 고려하여 각각의 1, 2차 고유주기에 대하여 임계감쇠의 2%를 적용하였고, 응답해석의 시간증분은 0.01sec로 하여 30초간 해석하였다.

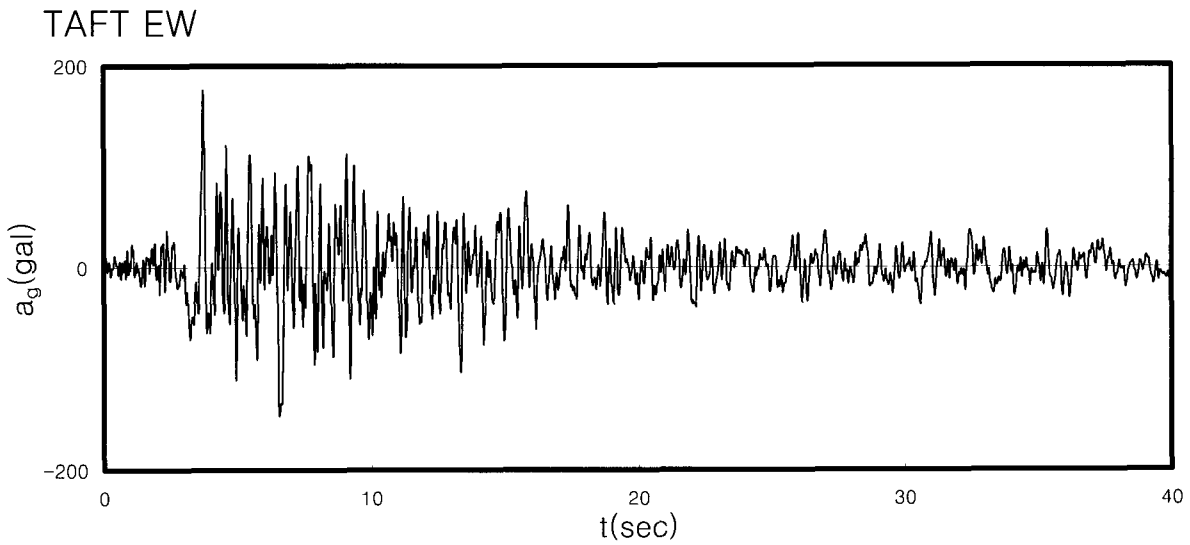


그림 4.1 입력지진동의 원가속도파형

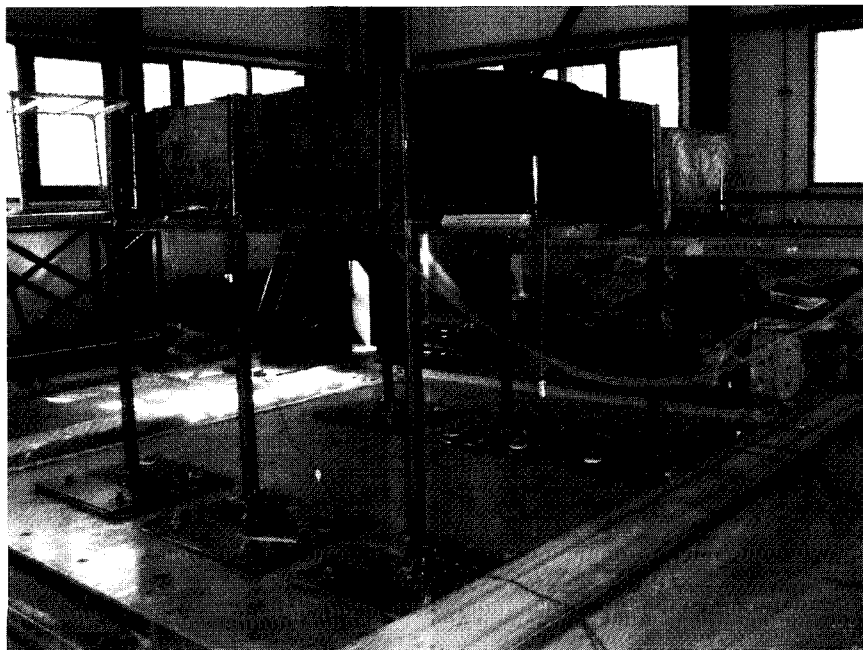
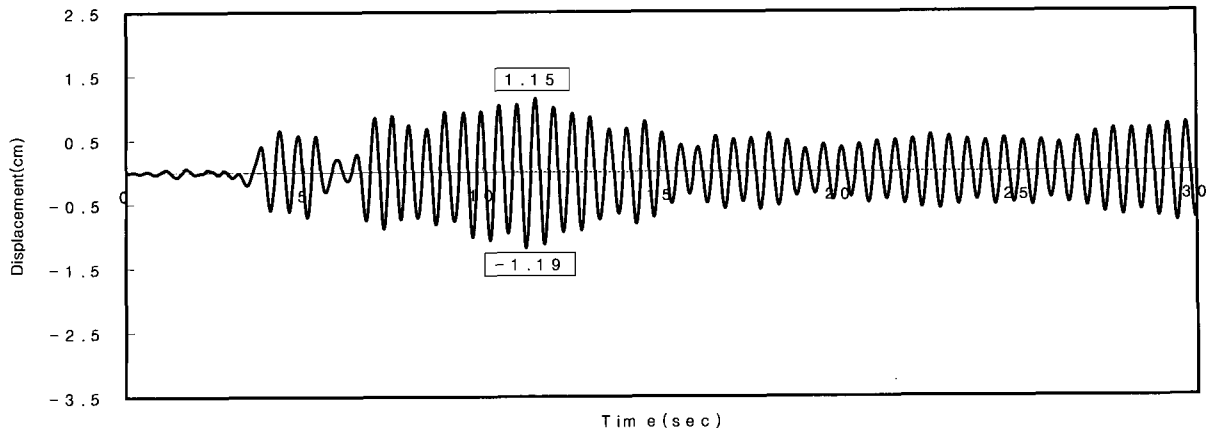
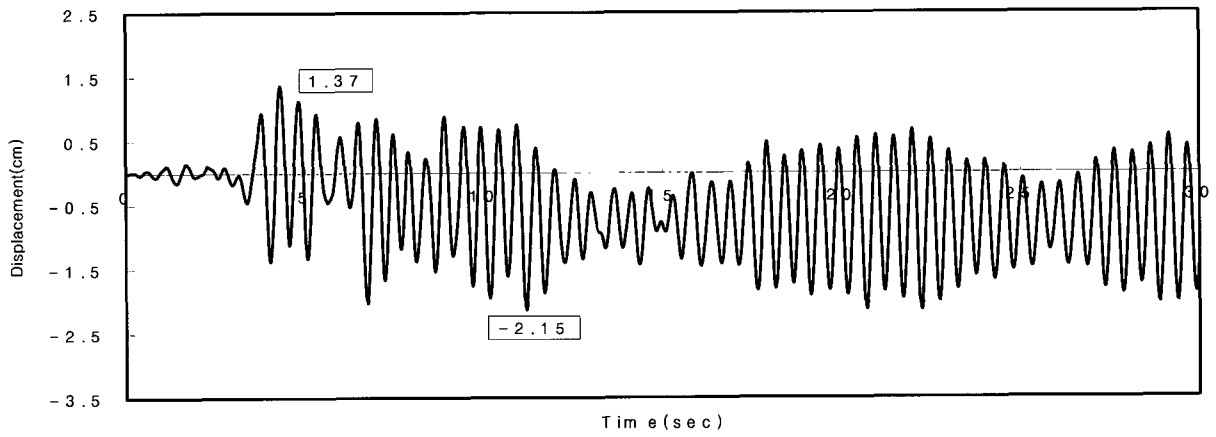


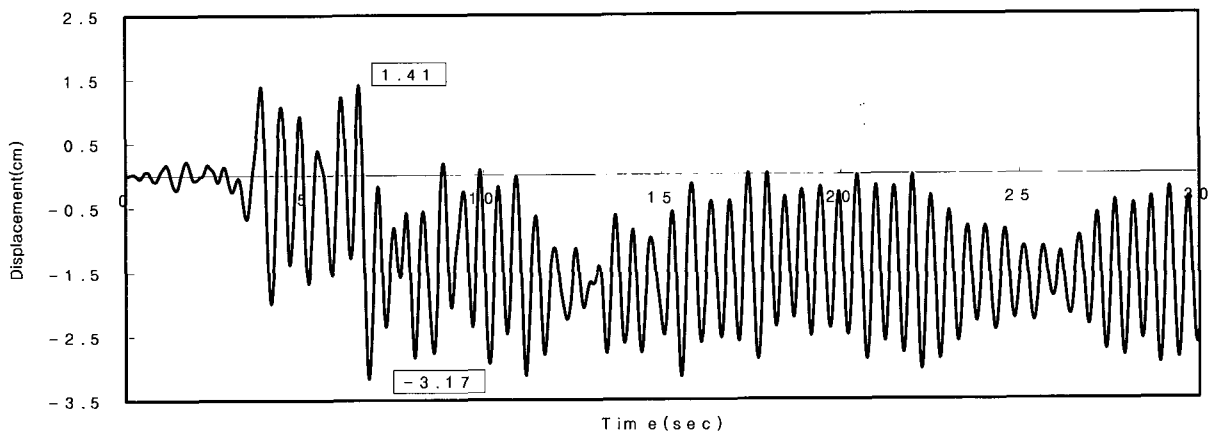
사진1 실험체 set up



(a) TF-EL

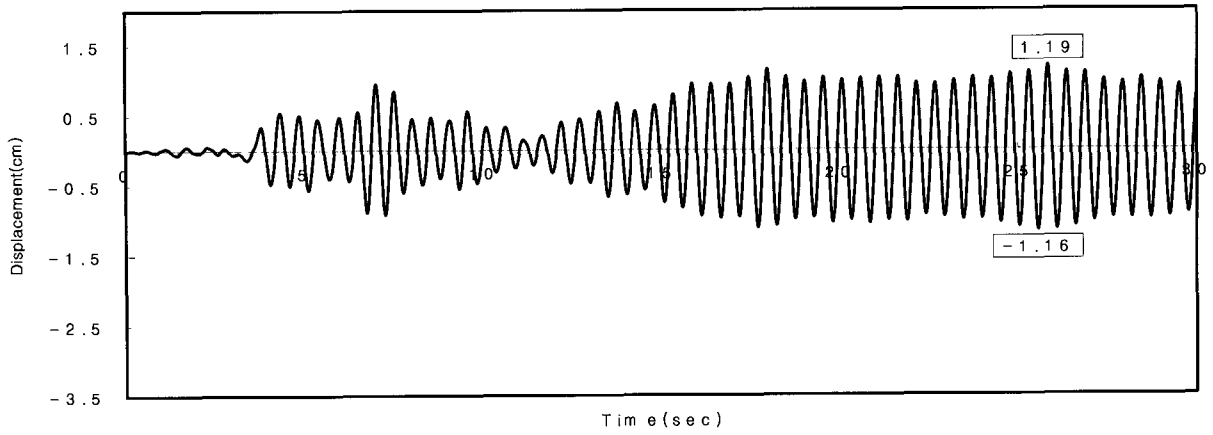


(b) TF-120

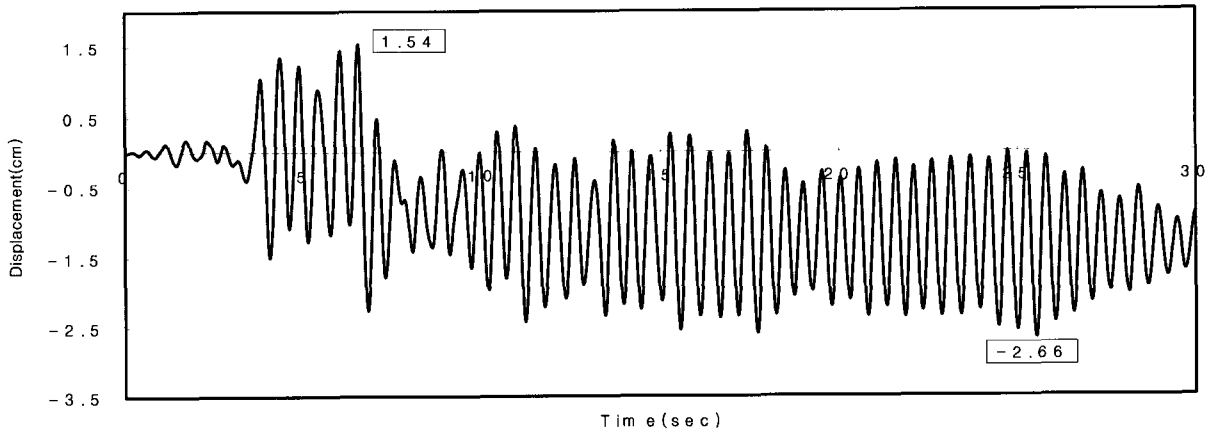


(c) TF-OR

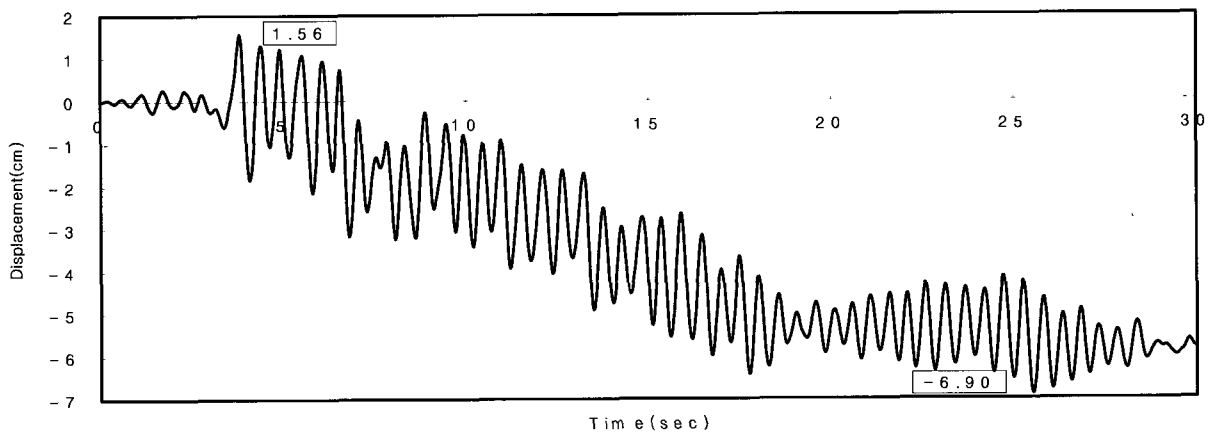
그림 4.2 P- $\Delta$ 효과를 무시한 강축방향 기둥배치에서의 변위이력



(a) TF-EL

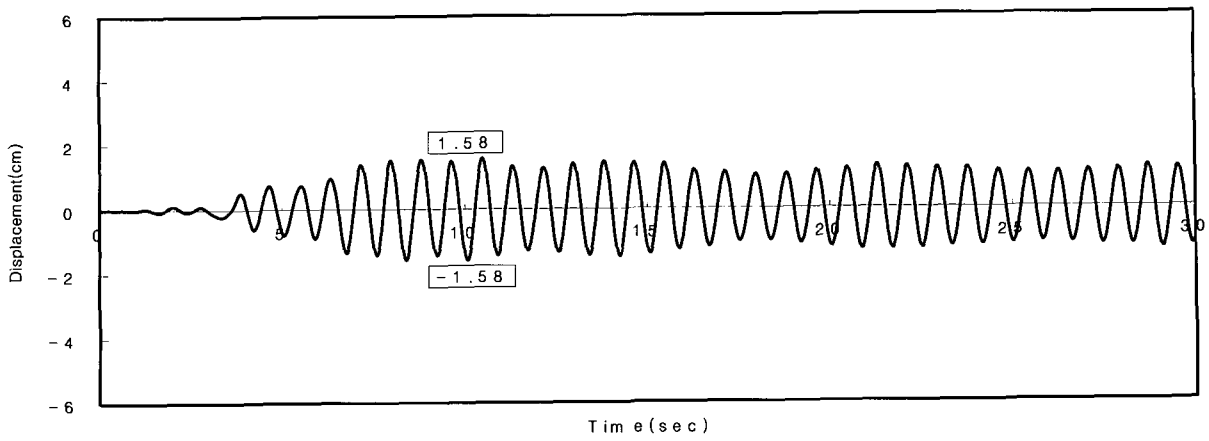


(b) TF-120

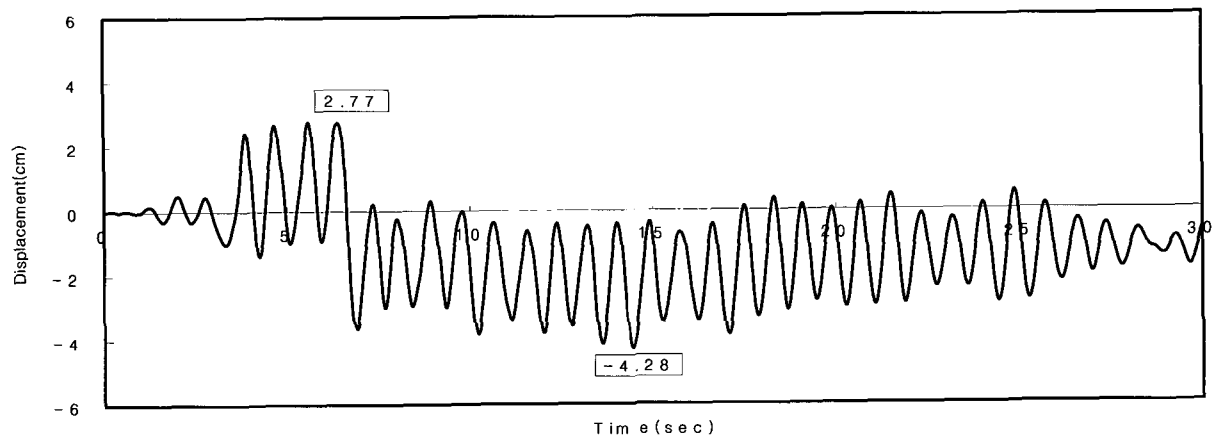


(c) TF-OR

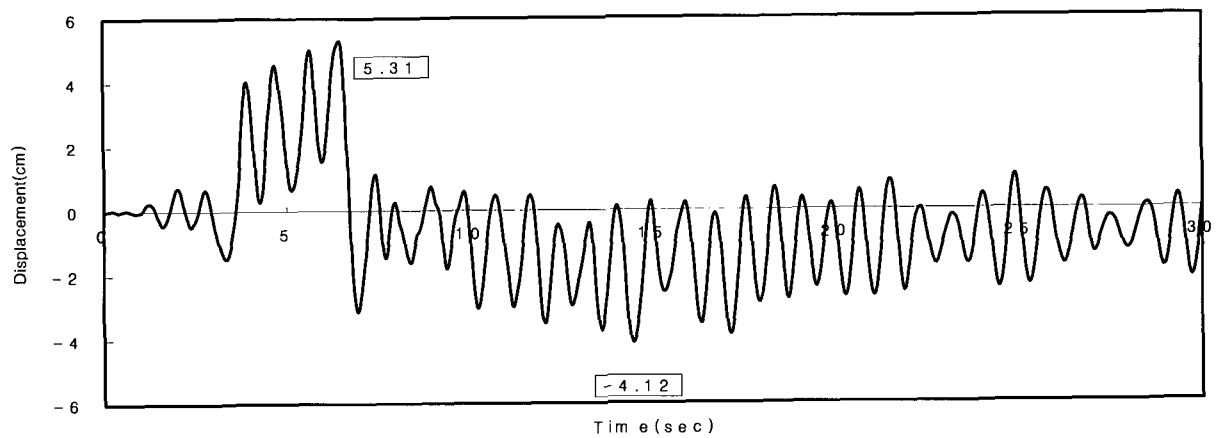
그림 4.3 P-Δ효과를 고려한 강축방향 기둥배치에서의 변위이력



(a) TF-EL

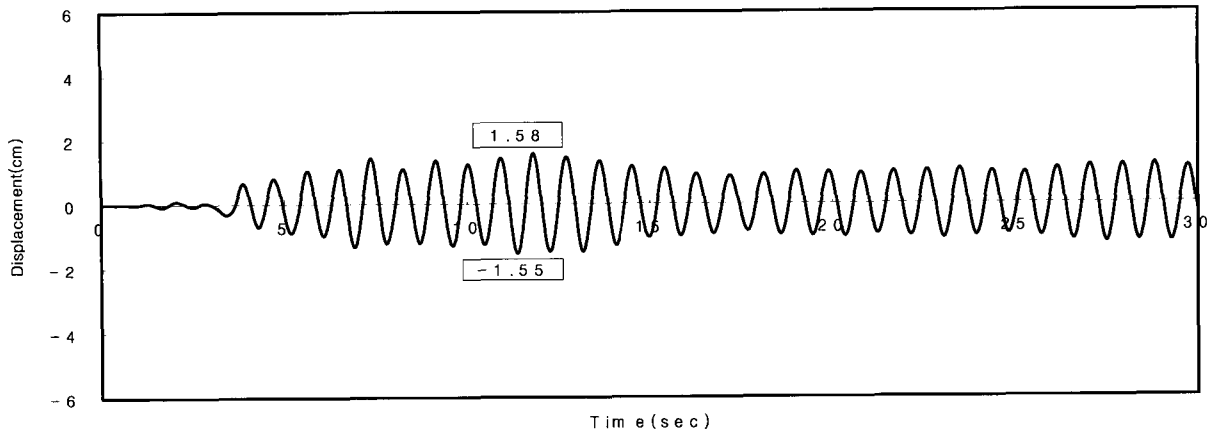


(b) TF-120

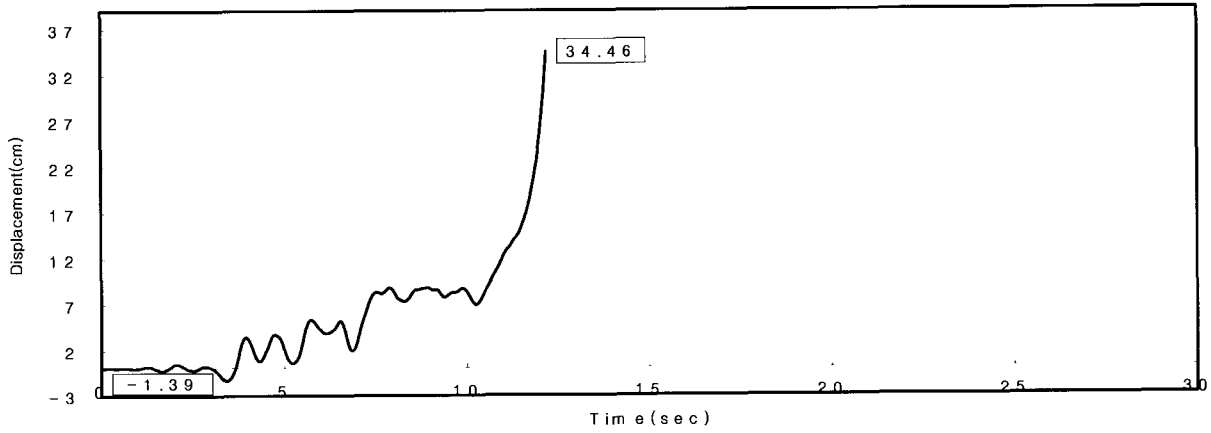


(c) TF-OR

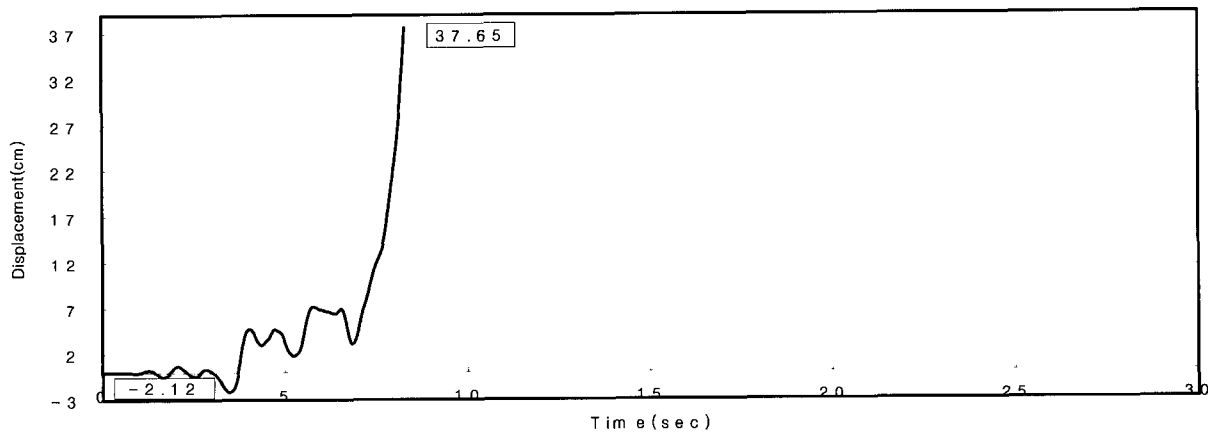
그림 4.4 P- $\Delta$ 효과를 무시한 약축방향 기둥배치에서의 변위이력



(a) TF-EL



(b) TF-120



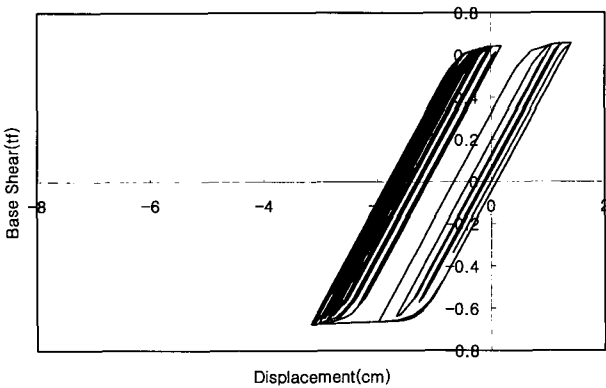
(c) TF-OR

그림 4.5 P-Δ효과를 고려한 약축방향 기둥배치에서의 변위이력

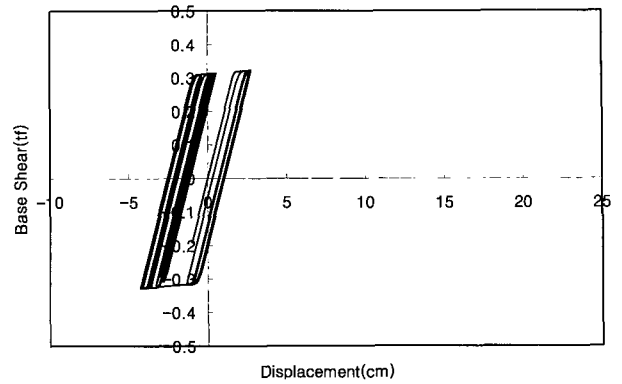


4.4 지진동에 대한 복원력

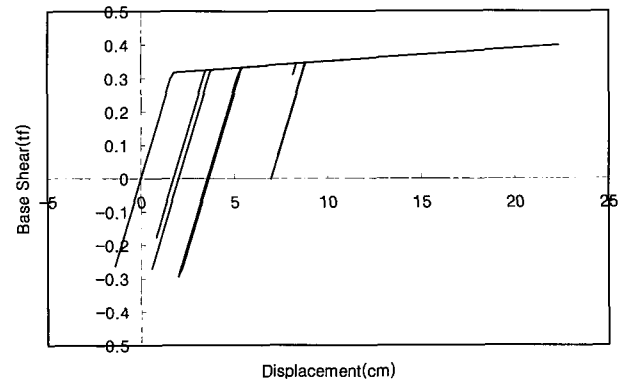
변위이력관계에서의 각 변위와 그에 해당하는 시각에서의 밀면전단력 간의 관계를 그림 4.6, 그림 4.7에 나타내었다. 이를 통하여 정적해석으로 얻어진 Q- $\delta$ 관계와 지진시의 Q- $\delta$ 관계를 비교한다. 모델의 항복 후 소성변형 상황을 확인하기 위하여 강축방향 기둥배치에서는 TF-OR 지진파에 대하여 정리하였고, 약축방향 기둥배치에서는 TF-120에 대하여 정리하였다. 그림에서 횡축은 절점 103에서 측정되는 변위(cm)를 나타내고, 종축은 모델의 밀면전단력(tf)을 나타낸다.



(a) P- $\Delta$  효과를 무시한 경우

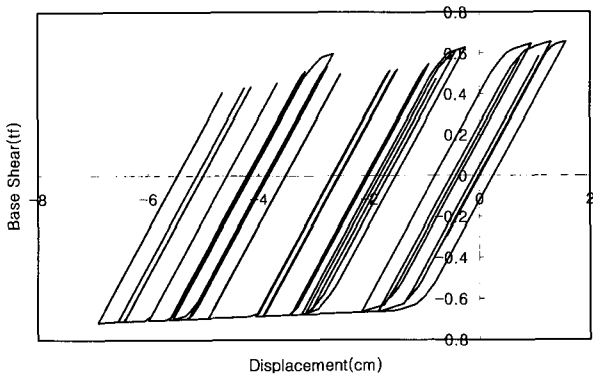


(a) P- $\Delta$  효과를 무시한 경우



(b) P- $\Delta$  효과를 고려한 경우

그림 4.7 약축방향 기둥배치에서의 Q- $\delta$ 관계(TF-120)



(b) P- $\Delta$  효과를 고려한 경우

그림 4.6 강축방향 기둥배치에서의 Q- $\delta$ 관계(TF-OR)

5. 결론

이상의 해석 결과 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 구조물 높이의 10%를 목표변위로 하여 Push-over 해석을 실시한 결과 강축방향 기둥배치와 약축방향 기둥배치 모두에서 P- $\Delta$ 효과의 고려여부에 관계없이 초기강성과 항복변위는 큰 차이를 나타내지 않으나, 각각의 경우 P- $\Delta$ 효과를 고려함으로써 강축방향 기둥배치에서는 항복전단력이 약 7.7%감소, 약축방향 기둥배치에서는 약 15.6%의 내력 감소를 보였다. 기둥배치에 따라서는 약축방향의 기둥배치가 강축방향의 기둥배치에 비해 그 내력이 약 50%로 감소됨을 알 수 있었다.

2) 지진과 응답해석에 대한 변위이력에서 우리나라 규준의 최고값이 120gal임을 고려하면 P- $\Delta$  효과를 고려한 약축방향 기둥배치에서만 구조체의 거동이 불안정한 면을

보일 뿐 다른 경우에는는 비교적 안정적인 거동을 보임을 알 수 있었다.

3) 지진동에 대한 Q- $\delta$ 관계에서 P- $\Delta$  효과를 고려한 모델이 P- $\Delta$ 를 무시한 모델에 비하여 소성변형이 큰 것을 알 수 있는데, 이는 P- $\Delta$  효과를 무시한 모델에서는 변형경화 비 2%로 내력이 상승하는데 비해, P- $\Delta$  효과를 고려한 모델에서는 항복점 이후 내력이 감소함으로써 그에 따른 소성변형이 발생하는 것이다.

4) 본 해석은 입체의 실험체를 평면의 모델로 이상화하여 수행한 것으로 실제 실험에서 발생할 수 있는 다른 물리적, 환경적 변수들에 대하여도 고려하여야 한다.

#### 참고문헌

1. Prakash V., Powell G.H. and Campbell S.D., "DRAIN-2DX", Version 1.10(1993), Structural Engineering, Mechanics and Materials, Dept. of Civil Engineering, Univ. of California · Berkeley, Report No. UCB/SEMM-93/17.
2. David Tang and Ray W. Clough, "Shaking Table Tests of a Steel Frame- a Progress Report", College of Engineering, Univ. of California · Berkeley, California, Report No. EERC 74-8, July 1974
3. Noor F.A. and Bosell L.F., "Small Scale Modeling of Concrete Structures", Elsevier Applied Science, 1992
4. Bertero V.V., et al, "Earthquake Simulation Tests and Associated Studies of a 1/5th-Scale Model of 7-story Reinforced Concrete Test Structure", Earthquake Eng. Res, Ctro, Univ. of California · Berkeley, Report UCB/EERC-84/05, June 1984
5. 秋山 宏(1987), 建築物の耐震極限設計, 제 2판, 東京大學出版會