

# 공동주택 성능 기반 설계



오 봉 환 성능설계 위원회 위원장  
(주)티섹구조 대표

건축구조기준(KBC2009)에 따라 내진설계범주 D, 높이 60m 이상인 벽식 아파트는 철근콘크리트 특수전단벽 구조를 의무적 적용하도록 규정하고 있다. 그러나 특수전단벽구조는 특수경계요소를 가지기 때문에 시공의 어려움이 있으며, 엔지니어의 판단에 따라 상세설계를 하는 경우 시공성을 고려한 배근상세를 적용하도록 허용하는 것을 고려할 필요가 있다.

이에 성능기반설계법을 적용하여, 엔지니어의 판단에 따라 배근된 상세를 가지는 공동주택의 내진성능을 정확하게 평가함으로써, 내진설계의 신뢰성을 확보하고자 성능설계위원회에서는 우리회와 LH공사가 공동으로 공동주택 성능설계 매뉴얼을 발간하게 되어 이번에 기초적인 내용에 대해서 설명하고자 하며, 앞으로 지속적으로 기술향상과 설계방법에 대해서 발전시키고자 한다.

또한 성능기반 설계절차 및 방법은 설계자의 실무경험을 통한 판단없이 설계기준 시방서등에 의존하여 설계를 하고 있기 때문에 구조물 주변의 환경 및 지형적 조건에 따라 안정성이 감소될 수 있고, 구조물의 사용성 및 중요도에 따른 성능목표를 정확히 판단하기 어렵다.

앞으로 지속적으로 사회적·경제적인 구조물을 설계하기 위해 설계자의 판단에 따라 요구 성능에 맞는 성능평가기법을 제시하여 실제 구조물의 성능설계시 신뢰성 있는 구조물이 완성될 수 있도록 국내실정에 맞는 방법을 제시하고자 한다.

## [공동주택 성능기반설계 연구 내용]

1. 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 성능설계 일반사항  
- 김대호, 오봉환, 주인돈, 박홍근
2. 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 성능설계를 위한 비선형 정적해석  
- 안태상, 김세일, 강두현
3. 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 성능설계를 위한 비선형동적해석의 수행 및 결과분석  
- 김성호, 윤병익
4. 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 비선형 해석 모델링에 대한 기초적 연구  
- 성장원, 손현우, 이종윤

## 감사의 글

본 연구는 2014년 한국토지주택공사의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

# 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 비선형 해석 일반사항

김대호\*  
Kim, Dae-ho

오봉환\*\*  
Oh, Bong-Hwan

주인돈\*\*\*  
Joo, In-Don

박홍근\*\*\*\*  
Park, Hong-Keun

## 1. 총 칙

### 1.1 일반사항

이 매뉴얼은 내력벽과 기둥으로 구성된 공동주택의 성능 기반설계방법을 제시하는 것을 그 목적으로 한다.

건축구조기준(KBC2009)에 따라 내진설계범주 D 높이 60m 이상인 벽식 아파트는 철근콘크리트 특수전단벽 구조를 의무적 적용하도록 규정하고 있다.

그러나 특수전단벽구조는 특수경계요소를 가지기 때문에 시공의 어려움 있으며, 엔지니어의 판단에 따라 상세설계를 하는 경우 시공성을 고려한 배근상세를 적용하도록 허용하는 것을 고려할 필요가 있다. 이에 성능기반설계법을 적용하여, 엔지니어의 판단에 따라 배근된 상세를 가지는 공동주택의 내진성능을 정확하게 평가함으로써, 내진설계의 신뢰성을 확보하고자 한다.

### 1.2 적용범위

성능기반설계법을 적용하여 내력벽 또는 기둥으로 구성된 공동주택의 구조설계를 수행하는 경우 이 매뉴얼을 적용한다.

### 1.3 참고기준

- (1) 건축구조기준(KBC2014)
- (2) FEMA 440
- (3) 기존시설물(건축물) 내진성능평가요령, 시설안전관리공단
- (4) ASCE41-06
- (5) ATC-72-1
- (6) 2011 LA CRITERA FINAL

\* (주)한울구조안전기술사사무소, 건축구조기술사/대표이사

\*\* (주)티섹구조, 건축구조기술사/대표이사

\*\*\* 한국토지주택공사, 건축구조기술사/부장

\*\*\*\* 서울대학교 건축공학과 공학박사, 건축구조기술사

### 1.4 내진성능평가 검토

초기 성능점의 위치는 탄성해석 혹은 비선형 정적해석을 수행하여 산정하고, 최종 성능점은 비선형 정적해석 및 비선형 시간이력해석을 동시에 수행하여 검토한다.

#### 1.4.1 내진성능 목표의 설정

KBC2009에 따른 지진하중 즉, 2400년 재현주기 지진의 2/3수준의 지진 작용시 KBC2009에 정의된 내진특등급 건물, 내진1등급 건물, 내진2등급 건물은 각각 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 성능을 발휘할 수 있어야 한다. 구조물은 아래 규정한 평균재현주기를 갖는 설계지반운동에 대하여 KBC2009에 정의된 수준을 만족할 수 있도록 평가되어야 하며, KBC 2009의 지진하중을 적용하여 평가한다.

#### 1.4.2 강도와 강성 성능 결정

강도와 유효강성 값은 별도의 표에 따른다.

#### 1.4.3 내진성능 목표 만족 여부 검토

비탄성 정적해석에서는 성능목표 만족여부에 따르며 비탄성 동적해석에서는 건물의 전체 성능수준 및 부재의 성능수준과 강도에 따라 검토한다.

## 1.5 책임구조기술자

### 1.5.1 책임구조기술자의 자격

본 매뉴얼에 따라 공동주택 내진성능기반설계를 수행하는 책임구조기술자의 자격은 국가기술자격법에 의한 건축구조기술사로 한다. 또한 피어리뷰를 수행하는 책임구조기술자의 자격은 지반-구조 상호작용전문가, 구조설계전문가, 비탄성 시간이력 해석 전문가로 최소 3인이상의 건축구조기술사 및 동등 이상의 능력을 갖춘 기술자로 최소 3인이상으로 한다.

1.5.2 책임구조기술자의 책무

본 매뉴얼에 따라 공동주택 내진성능기반설계 및 피어리뷰를 수행할 경우 구조설계도서(구조계획서, 구조설계서, 구조설계도)의 작성, 구조안전확인, 구조감리는 책임구조기술자의 책임아래 수행하여야 한다.

1.5.3 책임구조기술자의 서명·날인

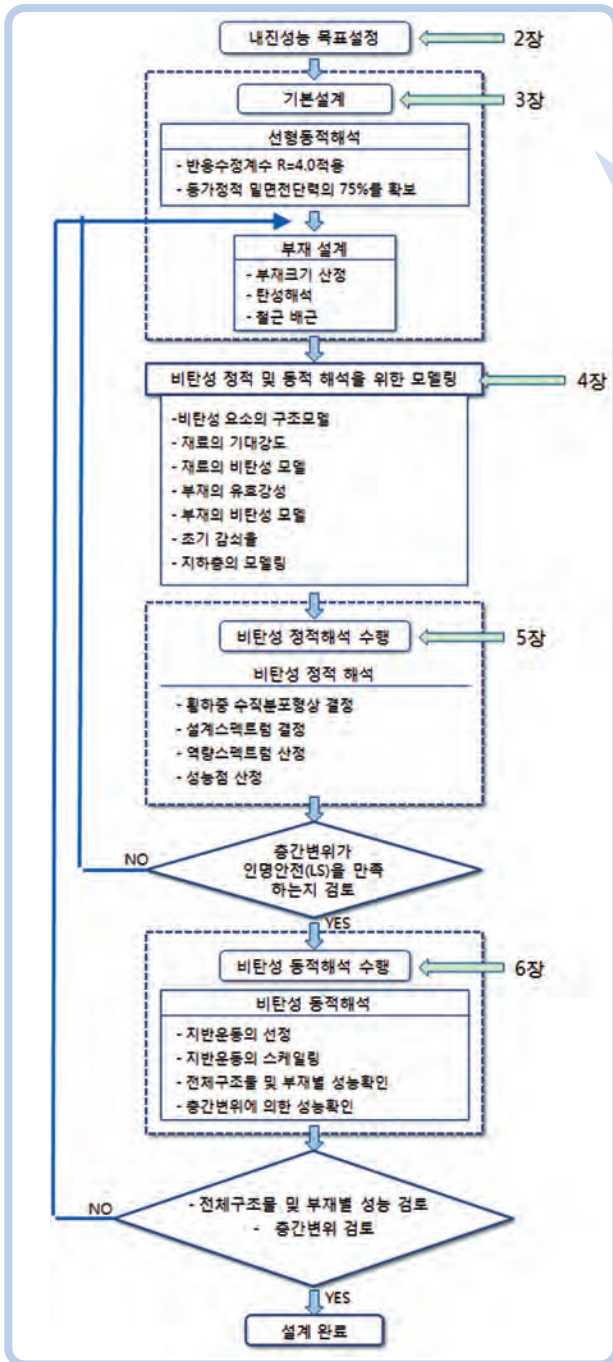
(1) 구조설계도서와 구조시공상세도, 구조감리보고서는 책임구조기술자의 서명·날인이 있어야 유효하다.

(2) 건축주와 시공자는 책임구조기술자가 서명·날인한 설계도서로 각종 인·허가행위 및 시공을 하여야 한다.

1.6 결과보고서 작성

결과보고서에는 구조물에 대한 정보 및 지반정보를 명기해야하며 내진성능평가 결과에 대한 성능점 및 부재검토서를 요약 정리하여 표기해야 한다.

1.7 내진성능기반설계 흐름도



2장 내진성능 목표설정

건축구조기준에 명시된 중요도를 기준으로 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 성능을 결정한다. 이 매뉴얼은 중요도 1인 공동주택 성능기반설계를 제시하므로 인명안전을 목표 성능으로 설정한다.

3장 기본설계

기본설계는 1차 설계를 목적으로 반응수정계수 4.0 보정계수  $C_m$  0.75를 설정하여 설계 완성한다.

4장 비탄성 정적 및 동적 해석을 위한 모델링

각 재료에 대한 변형을 및 기대강도 부재 이력곡선 등을 계산하고 각 값을 부재에 적용하도록 한다.

5장 비탄성 정적해석 수행

변위기반 해석법에 의한 비탄성 정적해석을 수행하여 층별 최대 층간변위비를 목표설정값에 만족하는지 확인하여야 한다.

6장 비탄성 동적해석 수행

7개 지반운동은 2개의 성분을 동시에 적용하며 건물의 최소 두 개의 주 방향에 대해 해석을 수행하여 평균응답으로 평가를 하며 설정된 인명안전수준인 “부재별 성능수준이 인명안전, 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상” 만족하는지 검토 해야한다.

위와같이 각각을 검토하고 목표 성능 수준을 모두 만족할 경우 설계가 완료된다. 그러나 목표성능에 대해 만족하지 못할 경우는 3장으로 다시 돌아가 부족한 부재에 대해 재설계를 실시하여 4장, 5장, 6장을 다시 검토한다.

# 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 성능설계를 위한 비선형 정적해석

안태상\*  
Ahn, Tae-Sang

김세일\*\*  
Kim, Se-Il

강두현\*\*\*  
Kang, Du-Hyun

최근 기존 구조물의 내진성능평가 또는 내진보강설계 시 건축물의 현 성능수준을 평가하고 목표성능수준에 맞추어 보강설계를 하는 성능기반설계 기법이 널리 사용되고 있다. 이러한 추세는 철근콘크리트 전단벽식 등의 지진저항시스템을 갖는 신축 구조물의 설계로 점차 확산되고 있지만 관련된 기준 및 가이드라인은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 신축 공동주택 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 성능설계를 위한 비선형 정적해석 수행 방법에 대하여 살펴보고, 결과 검증에 필요한 사항들을 제안하고자 한다.

## 1. 목표성능수준 결정 및 해석 모델링 수립

중요도 및 목표성능수준이 명확하게 결정된 신축 공동주택 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 성능설계를 위한 초기 설계를 수행하고, 이에 대하여 비선형 정적해석을 수행한다. 여기서 해석을 위한 모델은 앞서 제시된 철근콘크리트 전단벽식 모델링 방법에 대한 연구 자료를 반영하여 수립한다.

### 2.1 비선형 정적해석을 위한 횡하중 수직분포 모델 결정

대상 구조물에 대한 비선형 정적해석 시 건축물에 횡하중 수직분포 형상을 결정하기 위하여 아래의 방법 ①~③을 모두 검토하여 가장 불리한 성능곡선을 선택하여야 한다. 하지만 ①, ②에 제시된 방법은 해석 수행방향으로의 1차모드 모드질량참여율이 75% 이상일 경우에만 적용하며, ③의 방법은 사용된 응답스펙트럼에서 고려된 모드질량이 건축물 전체 질량의 90% 이상이 되도록 충분한 수의 모드가 고려되어야 한다.

- ① 건축구조기준(KBC)상의 등가정적하중 수직분포
- ② 1차모드 형상에 따른 수직분포
- ③ 응답스펙트럼을 통한 층전단력 수직분포

### 2.2 역량스펙트럼 산정

건축물에 대하여 비탄성 정적해석을 실시한 후 최하층 밑면전단력을 세로축, 최상층 수평변위를 가로축으로 역량곡선 그래프(Capacity Curve)를 산정한다. 이후 밑면전단력을 1차 모드의 유효질량으로 나누어 가속도(Sa)로 변환하고, 수평변위는 1차 모드의 모드참여계수로 나누어 변위 응답(Sd)으로 변환하여 역량스펙트럼(Capacity Spectrum) 그래프로 좌표를 나타낸다.

### 2.3 요구스펙트럼 산정

최초 설계응답스펙트럼은 반응수정계수를 고려하지 않은 탄성응답스펙트럼이며, 가속도-변위 응답스펙트럼 좌표계에 중첩시키기 위하여 가로축의 고유주기를 변위 응답(Sd)로 변환하여 탄성요구스펙트럼을 산정한다.

### 2.4 성능점 산정

역량스펙트럼과 요구스펙트럼을 중첩한 가속도-변위 응답스펙트럼에서 건축물의 역량스펙트럼 상에 존재하는 실제의 성능점을 구하기 위하여 초기 성능점을 가정한다. 이후 가정된 성능점에 상응하는 유효 점성감쇠비를 산정하여 유효강성 및 유효주기를 산정한다. 또한 감쇠비를 증가시켜 저감된 비탄성요구스펙트럼을 산정하고, 이에 대한 성능점을 구한다.

\* (주)DRB동일 건설기술연구소, 공학박사/건축구조기술사/소장 (E-mail:ahn.tae.sang@drbworld.com)

\*\* 빛과울구조건설링, 건축구조기술사/대표이사

\*\*\* (주)리엔텍엔지니어링, 건축구조기술사/소장





본 성능점과 초기에 가정한 성능점 좌표의 오차가 허용 범위 이내에 수렴될 때까지 상기 과정을 반복 수행하여 최종 성능점을 산정한다.

### 3.1 최대 층간변위비를 통한 목표성능수준 만족여부 검토

비탄성 정적해석에 의한 건축물의 성능수준은 최종 성능점에서의 층별 최대 층간변위비를 기준으로 판단하며 초기 설계 시 결정한 목표내진성능을 만족시켜야 한다. 또한 최대 층간변위비를 산정하기 위한 지진위험도는 설계스펙트럼가속도의 1.2배로 규정하며, KBC의 조항에 따른다.

공동주택 힙거동지배 내력벽의 성능수준에 따른 최대 층간변위비는 아래의 표와 같으며, 여기서  $H_x$ 는 각 층의 층고를 나타낸다.

[표 1] 허용 층간변위비

목표내진성능수준	최대 허용 층간변위비
인명안전수준	0.015 $H_x$

### 3.2 여유도(Redundancy) 계수 검토

여유도 계수(Redundancy Coefficient,  $\Omega$ )는 반응수정계수를 적용한 설계 밀면전단력에 대한 건축물의 역량곡선상 최대 강도의 비율로 나타내며,  $\Omega$ 가 1.5 이상일 때 최소강도 기준을 만족하는 것으로 판단한다. 여기서 여유도 계수  $\Omega$ 의 최소치 1.5는 현행 기준상에서 철근콘크리트 전단벽식 구조물은 초과강도계수  $\Omega_0$ 에 2.5를 적용하는 것으로 되어있으나, 국내 구조물 지진하중저항시스템의 경우 대부분 지진하중 뿐만 아니라 중력하중까지 지지하도록 설계되어 있어 실제로 초과강도계수  $\Omega_0$ 가 2.0을 대부분 넘지 못하는 현실을 반영한 것이다.

비선형 정적해석은 설계한 구조물의 비선형 거동을 이해하기 위한 과정이며, 비선형 시간이력해석을 배제하고 정적 해석만의 결과로 구조물의 성능수준을 판정하기는 어렵다. 따라서 본 제안사항에서는 부재 단위의 평가를 생략하였고, 실무자가 구조물의 개략적인 성능수준을 판단하는데 중점을

두었다.

#### 참고 문헌

1. Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council. An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in Los Angeles Region, 2011
2. Tall Buildings Initiative. Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, Version 1.0, 2010.
3. Pacific Earthquake Engineering Research Center/Applied Technology Council 72-1. Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings, 2010.

# 비탄성 동적해석의 수행 및 결과분석

윤병익\*

Yoon, Byung-Ick

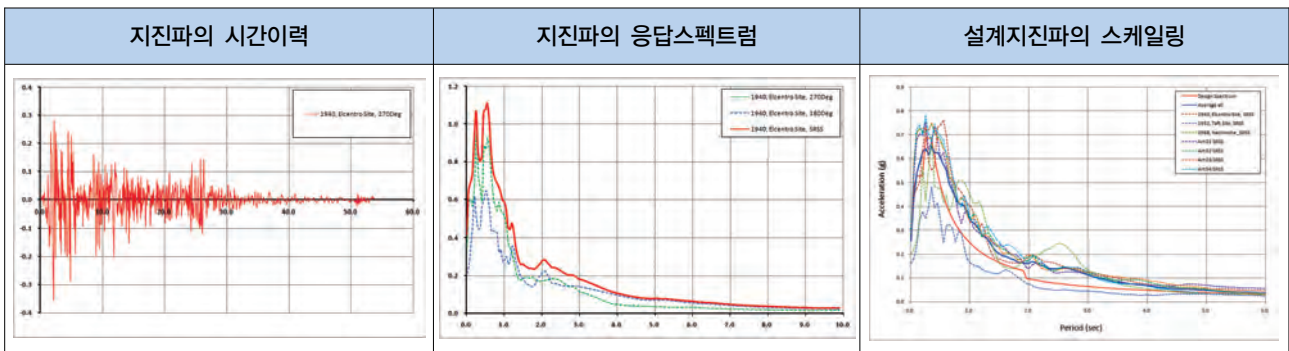
김성호\*\*

Kim, Sung-Ho

건축구조기준에 의한 내진설계는 가끔 일어나는 큰 지진에 대해서는 인명피해가 발생하지 않도록 붕괴를 방지하고 자주 일어나는 작은 지진에 대해서는 건축물에 큰 피해가 발생하지 않도록 함으로서 인명손실과 경제성을 동시에 추구하는 개념이 내포되어 있다. 이러한 기준은 하중기반의 탄성설계로서 다양한 형태의 건축물을 몇가지 형태로 단순화하여 지진하중을 정의하고 반응수정계수를 적용한 설계스펙트럼을 사용하여 탄성해석을 수행하기 때문에 설계하고자 하는 건축물의 실제적인 지진 응답과 상당한 차이가 날 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 성능기반의 내진설계를 위한 비탄성동적해석은 부재들의 비탄성거동을 정의한 상태에서 지진파를 적용한 시간이력해석을 수행하여 실제 예상되는 지진에 대한 건축물의 응답을 평가할 수 있기 때문에 합리적인 내진성능평가의 수단이라고 할 수 있다.

## 1. 설계지진파의 선정

비탄성동적해석을 수행하기 위해서는 시간이력의 지진파를 설계용으로 보정한 설계지진파가 필요하다. 이러한 설계지진파를 선정하는 방법에 대해서는 이미 KBC2009에 수록되어 있으나 실무적으로 적용할 때 두 가지 방안들이 고려되고 있다. 하나는 기준에서 제시한 대로 7개 또는 3개의 지진파에 대해 평균스펙트럼을 만든 후 탄성스펙트럼과 비교하여 스케일링 하는 경우이고 또 다른 방법은 평균스펙트럼을 만들기 전에 미리 각각 지진파의 응답스펙트럼을 탄성스펙트럼과 비교하여 보정한 후 보정한 지진파의 평균스펙트럼과 탄성스펙트럼과 비교하여 스케일링 하는 경우이다.



대상지진파를 선택할 때는 FEMA P695의 Appendix A Ground Motion Record Sets를 참고하고 계측파가 부족한 우리나라의 현실을 고려하여 규모6.5이상, 대상대지와 같은 조건에서의 지진파 그리고 0.2g 이상의 PGA와 15cm/s 이상의 PGV를 만족하는 지진파를 추천한다.

\* (주)아이맥스트럭처, 건축구조기술사/대표이사

\*\* (주)티섹구조이엔씨, 건축구조기술사/대표이사



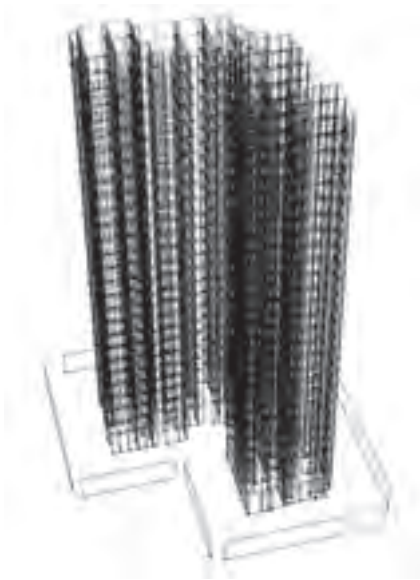
## 2. 비탄성동적해석을 위한 모델링

비탄성동적해석의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 해석모델이 적절하게 모델링되어야 하며 고려사항 중에 특히 중요한 세가지 사항은 다음과 같다.

첫째, 최근에 지어지는 대부분의 공동주택은 구조적인 효율성보다는 주거기능과 미관을 고려하여 비정형형태의 구조물로 설계되고 있어 2차원 단순모델링으로는 비틀림이나 고차모드등의 영향을 적절하게 반영하지 못하므로 3차원으로 모델링해야 한다.

둘째, 구조물의 주기등 구조물거동의 주요 요소에 영향을 주는 부재는 비내력벽으로 구분한 경우라도 모델링하고 필요한 경우 부재설계를 수정해야 한다.

셋째, 부재들은 비탄성특성에 맞게 모델링해야 하나 벽체의 전단특성이나 전이구조와 같이 탄성특성을 유지해야 할 필요가 있다고 판단되는 부재는 탄성거동으로 모델링하고 해석 후에도 부재력이 설계강도내에 있는지 확인해야 한다. 또한, 구조물의 크기가 매우 커서 비탄성해석에 걸리는 시간이 길어 해석이 원활하지 않을 경우 최대지진력에도 탄성특성을 유지할 것으로 예상되는 부재는 탄성특성으로 모델링할 수 있다. 단, 해석 후에 부재력이 설계강도 이내인지 확인하고 초과한 경우에는 부재특성을 수정한 후 재해석해야 한다.



## 3. 해석 결과의 확인

해석결과는 기준에 명시된 바와 같이 3개의 지반운동으로 해석한 경우는 최대응답으로 평가하고 7개 지반운동일 경우는 평균응답으로 평가한다. 평가 대상 건축물이 대부분 15층 이상의 공동주택으로서 내진등급이 1등급이므로 허용층간변위가 0.015h 이내여야 하며 부재들의 목표성능 만족여부 그리고 모델링시 가정했던 탄성 부재들에 대한 부재강도확인등이 수행되어야 한다.

### 참고 문헌

1. Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P695 / June 2009, : Appendix A Ground Motion Record Sets, A.7 Record Selection Criteria.
2. Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, version 1.0 November 2010 : 5.4 Selection and Modification of Accelerograms.
3. Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council. An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in Los Angeles Region. 2011

# 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 비선형 해석 모델링

성창원\*

Sung, Chang-Won

손현우\*\*

Son, Hyun-Woo

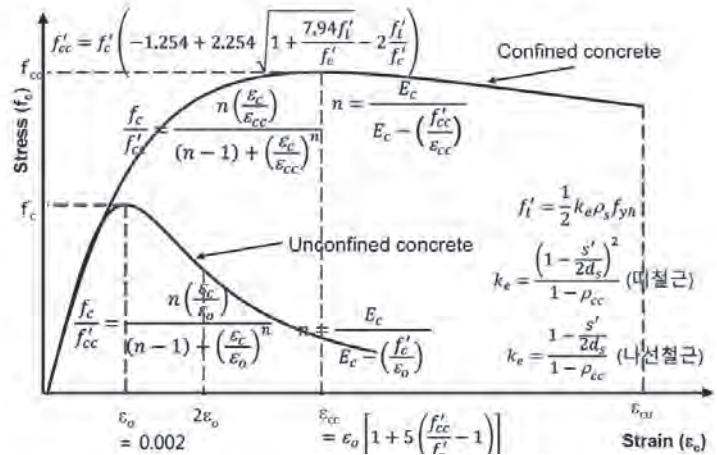
이종윤\*\*\*

Lee, Jong-Yun

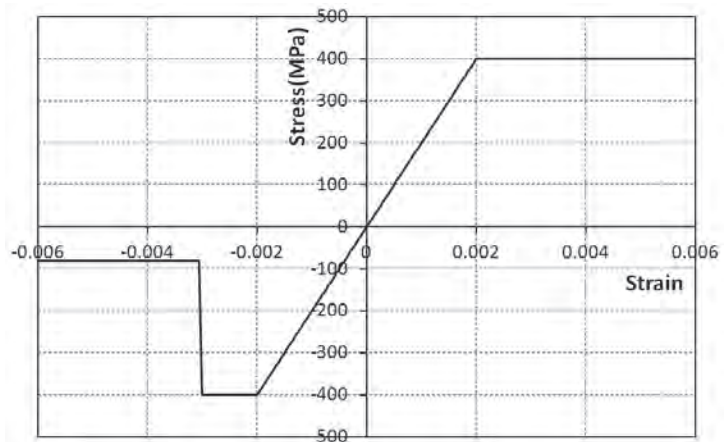
비선형 해석을 위한 모델링은 재료나 부재들의 특성에 대한 많은 데이터를 요구하며, 이러한 데이터들이 재료나 부재들의 특성을 잘못 반영하게 되면, 비선형 해석의 결과가 실제와는 엄청나게 다른 결과를 초래하게 된다. 따라서 본 연구에서는 공동주택 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 비선형 해석을 위한 모델링 과정에서 반드시 고려되어야 할 사항들을 살펴보고자 한다.

비선형 해석을 위한 모델링은 3차원 모델링을 원칙으로 하며, 본 논문에서는 다음의 8가지 고려사항들에 대한 모델링 방법을 제시하고자 한다.

- 1) 비탄성 요소의 구조모델은 철근콘크리트 벽식 구조물이므로, 집중힌지 모델과 분포비탄성 모델(파이버)을 적용하며,
- 2) 중력하중의 효과는 고정하중의 100%와 활하중의 25%를 중력하중으로 고려하여 비선형 해석을 수행한다.
- 3) 재료의 비탄성 모델은 i) 재료의 기대강도, ii) 콘크리트의 비탄성 모델, iii) 철근의 비탄성 모델로 구분할 수 있으며, 재료의 기대강도는 콘크리트의 압축강도와 철근의 항복강도에 따라 조금 다르게 적용한다. 또한 콘크리트의 비탄성 모델은 Mander모델이나 포물선-직선관계의 모델을 사용할 수 있으며, 철근의 비탄성 모델은 인장을 받을 경우, 이선형 모델을 사용하고, 압축을 받는 경우, 0.3% 압축변형률에서 철근의 좌굴로 인하여 강도가 저감되는 모델을 사용한다.



[그림 10] Mander모델의 응력-변형률 관계



[그림 2] 철근 비탄성 모델 예(Fy=400MPa)

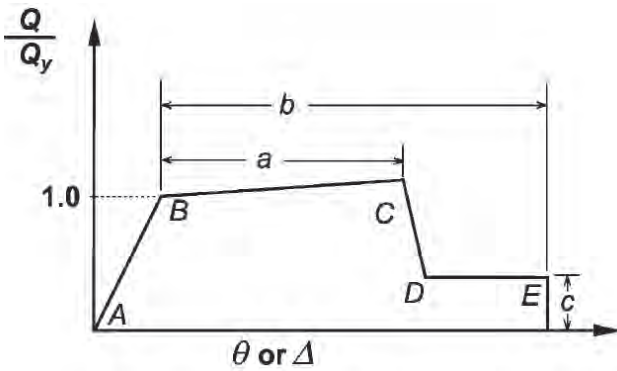
- 4) 부재의 비탄성 모델은 i) 부재의 유효강성, ii) 부재의 거동특성, iii) 부재의 강도, iv) 부재의 비탄성 모델링 변수로 구분할 수 있으며, i) 부재의 유효강성은 보, 기둥, 벽체, 연결보에 대하여 각각 휨강성을 다르게 적용하며, ii) 모든 부재의 거동을 변형지배 작용과 하중지배 작용으로 분류하여 비선형 특성을 반영한다. 또한 iii) 부재의 강도는 KBC2014에 의해서 결정하거나 한국시설안전공단 “기존 건축물의 내진성능평가 및 향상요



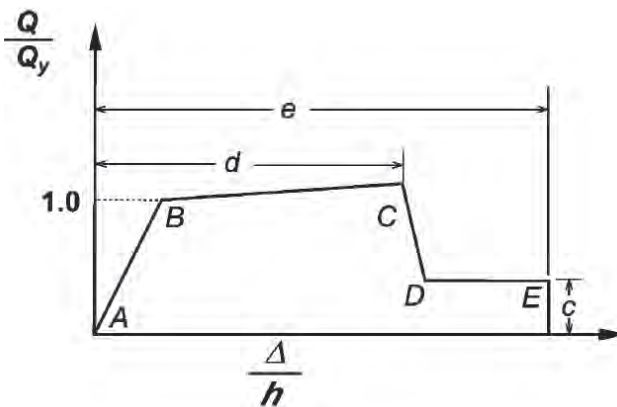
[표 1] 부재의 유효강성

	휨강성	전단강성	축강성
보	$0.5E_cI_g$	$GA_w$	-
기둥 (축력비가 0.5이상)	$0.7E_cI_g$	$GA_w$	$E_cA_g$
기둥 (축력비가 0.3이하)	$0.5E_cI_g$	$GA_w$	$E_cA_g$
벽 (균열이 없는 경우)	$0.8E_cI_g$	$GA_w$	$E_cA_g$
벽 (균열이 있는 경우)	$0.5E_cI_g$	$GA_w$	$E_cA_g$
연결보	$0.2E_cI_g$	$GA_w$	-

령”에 의하여 결정하고 iv)부재의 비탄성 모델링 변수는 보, 기둥, 벽체 및 연결보에 대하여 ASCE41 Proposed 규준(2010)을 적용한다.



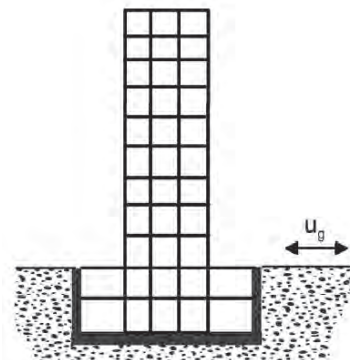
(a) 변형량 기준



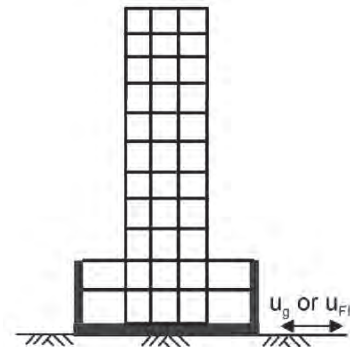
(b) 변형비 기준

[그림 3] 일반적인 힘-변형과의 관계

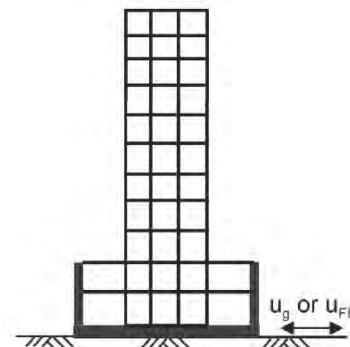
- 5) Bak Stay효과는 다이아프램과 다이아프램을 지지하는 부재들의 면내강성과 강도에 따라 매우 달라지므로, Podium바닥의 면내강성을 어떻게 고려할 것인지를 판단이 필요하다.
- 6) 지하층의 실제형상과 모델링 방법들은 다음과 같은 방법들이 있으며, 이 두가지 모델링 방법 중에서 실제적인 실무 적용성을 위해 [그림 4(b)]의 구조모델을 적용할 수 있다.



(a) 실제 구조체



(b) 단순화한 모델



(c) 상세 해석모델

[그림 4] 지하부 모델링 방법

7) P- $\Delta$  효과는 반드시 고려되어야 하며, 8) 비탄성 모델링의 범위는 비탄성 거동에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에서 조정할 수 있으며, 반드시 전문가들의 자문을 통하여 결정하여야 한다.

비선형 해석을 위한 모델링 과정에서 필요한 자료들은 이 밖에도 많으며, 아직도 명확히 결정할 수 없는 부분도 있어서 전문 엔지니어의 적절한 판단이 요구된다.

#### 참고 문헌

1. Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council. An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in Los Angeles Region, 2011
2. Tall Buildings Initiative. Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, Version 1.0, 2010.
3. Pacific Earthquake Engineering Research Center/Applied Technology Council 72-1. Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings, 2010.