

# 국내 비내진 설계 철근콘크리트 아파트에 대한 지진피해 예측 연구

## A Study on Earthquake Damage Estimation of Non Precode Designed Reinforced Concrete Apartment in Korea

권 기 혁\* / 고 용 범\*\*  
Kwon, Ki Hyuk / Ko, Yong Bum

### Abstract

Korea is located away from plate boundaries which are not safe from earthquakes. However, having witnessed the large-scale earthquake in the Tangshan region in 1976 deemed as a safe plate, it should not be assured that Korea is absolutely safe from earthquakes. In addition, many seismologists have claimed that there indeed is a high possibility of earthquakes above mid scale that would occur in Korea. Because it is impossible to prevent earthquake, studies on seismic design and earthquake disaster control system are widely being conducted. However, studies on early response to earthquakes or recovery process are still very limited, and only a few studies for establishing earthquake damage evaluation system are being conducted. Thus, this study aimed to present essential data for establishing earthquake damage evaluation system that takes into account the real situation of structures in Korea. In this study, a nonseismically reinforced concrete apartment structure in Gangnamgu was selected as a standard type of such structures and its earthquake damage was estimated. The result of damage evaluation based on the derivation of vulnerability function and realtive story displacement was compared to that obtained using HAZUS Program Vulnerability Function.

**key words** : earthquake damage estimation, earthquake damage evaluation system, HAZUS program

### 요 지

우리나라는 비교적 안정된 판 내부에 존재한다. 하지만, 1976년 안전지대로 평가된 중국 당산지역의 대규모 지진이 발생한 것처럼 우리나라도 지진에 대해 안전한 지역이라고 단언할 수는 없다. 게다가, 지진학자들도 국내에서 중규모 이상의 지진발생 가능성이 높다고 지적하고 있다. 이러한, 지진은 자체를 예방할 수 없기 때문에 내진설계에 대한 연구와 지진재해 관리체계에 대한 연구가 전반적으로 이루어지고 있다. 그러나, 지진발생 시 초기 대응이나 수습과정에 대한 연구는 미비한 상태이며, 지진피해 평가시스템 구축을 위한 극소수의 연구가 진행되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구는 국내실정을 고려한 지진피해 평가시스템 구축을 위한 기초자료를 제시함을 목적으로 한다. 이를 위하여 강남구 비내진 철근콘크리트 아파트를 표준형 건축물로 선정하여 지진피해를 예측하고, 취약도 함수의 도출과 층간변위에 따른 피해평가를 행하여 HAZUS 프로그램 취약도 함수 적용결과와 비교분석한다.

**핵심용어** : 지진재해 관리체계, 지진피해 평가시스템, 취약도 함수, 층간변위, HAZUS 프로그램

\* 정회원 · 서울시립대학교 건축공학과 부교수 (e-mail : khkwan@uos.ac.kr)

\*\* (주)정일구조기술사사무소 사원

## 1. 서 론

우리나라에서 1978년 이후 2005년 6월까지 규모 5 이상의 지진은 4회 이상 기록되었으며, 역사적으로도 서울지역에서 추정진도 8이상의 지진이 15세기에서 16세기에 걸쳐 3회 일어난 것으로 기록되고 있다. 그러나, 근대에 들어서서 지진에 의한 인명피해가 발생된 적이 없고 우리나라가 비교적 안정된 판 내부에 존재하기 때문에 대규모의 지진발생 가능성은 판 경계지역인 미국서부, 일본, 대만 등보다는 그 위험도가 낮으나, 1976년 중국 탕산에서 발생한 탕산지진은 우리나라보다 더 안전한 지대로 평가되는 판중심부에 근접한 지역에서 발생되었음에도 규모 7.6에 인명피해가 24만 명 이상으로 추정되는 대규모 지진이었다. 그러므로, 우리나라가 지진에 대해 안전한 지역이라고는 단언할 수 없을 뿐 아니라, 국내외 지질학자들도 국내에서 중 규모 이상의 지진발생 가능성은 높다고 지적하는 실정이다.

지진예방은 지진자체를 예방할 수 없기 때문에 지진에 대한 건축물의 저항능력을 향상시키는 내진설계와 기존 건축물의 내진성능 평가 및 보강공사로 구성되고 있으며, 1988년 내진설계 기준이 최초로 도입된 후 내진설계에 관한 연구와 내진성능 평가를 위한 연구는 지진재해 관리체계에 대한 연구가 전반적으로 소홀한 가운데에서도 어느 정도의 연구결과들이 축적되었으나, 지진 발생 시 초기 대응이나 수습과정에 대한 연구는 미비한 상태이며 특히 대응·수습 계획 수립을 위한 지진피해 평가시스템 구축을 위한 연구는 극소수 연구자에 의해 진행되고 있는 것이 현실이다. 지진대응 전략수립의 기본조건인 지진피해 예측 지도는 건축물의 구조적 특성에 따른 분류, 통계자료, 구조역량에 대한 일반화된 평가, 손상도 평가함수, 지반자료 등 광범위하고 체계적인 기초자료의 축적이 필요하고, 이를 기반으로 하여 GIS Data Base가 구축되어야만 작성될 수 있다. 그러나, 우리나라의 실정은 정확한 건축물의 정보의 획득이나 구조형식에 대한 분류 등 가장 기초적인 정보조차 조사·정리되어 있지 않은 상태로 관청에서 관리하는 건축물 대장조차 정확치 않은 상태이다. 따라서 진재에 대비하기 위해 필수적인 지진피해 예측 지도의 작성은 외국의 평가 방법을 도입하여 적용한다 하여도 적용환경의 열악함으로 인해 정확한 예측이 불가능할 수 있다.

따라서 본 연구는 국내 건축물 중 조적조 구조 다음으로 지진피해가 클 것으로 예상되는 비내진 설계의 철근콘크리트 건축물 중 층수 분포가 다양한 아파트

건축물을 대상으로 선정하고, 지역적으로 이러한 아파트들이 가장 많이 시공되었고, 재건축 대상 이외에도 기존 건물이 다량인 강남구를 선택하여 선정된 표준형 건축물의 지진피해 예측을 수행하여 기율기에 따른 피해 평가를 행하고 그 결과를 국외에서 사용되고 있는 HAZUS 프로그램의 취약도 함수 적용결과와 비교 제시하여 국내 실정을 고려한 지진피해 평가시스템 구축을 위한 기초자료의 축적을 목적으로 한다.

## 2. 표준형 건축물의 선정 및 피해 평가 기법

### 2.1 표준형 건축물의 설정

강남구에서 2003년 1월을 기준으로 관리중인 비내진 설계된 건축물을 본 연구의 대상 건축물로 규정하면, 강남구의 시공된 아파트 건축물 총 156건의 46%에 해당하는 것으로 나타나고 있다. 대상 아파트의 현황을 분석한 결과를 토대로 하여 구조 해석의 대상이 되는 모델은 층수를 기준으로 모멘트 골조 방식은 5층, 9층, 12층 그리고 15층으로 정하였으며, 벽식은 9층, 12층, 15층으로 설정한다. 층수별 표준평면은 분양 평수를 고려하여 일반화시켜 <그림 1>에 나타내었다.

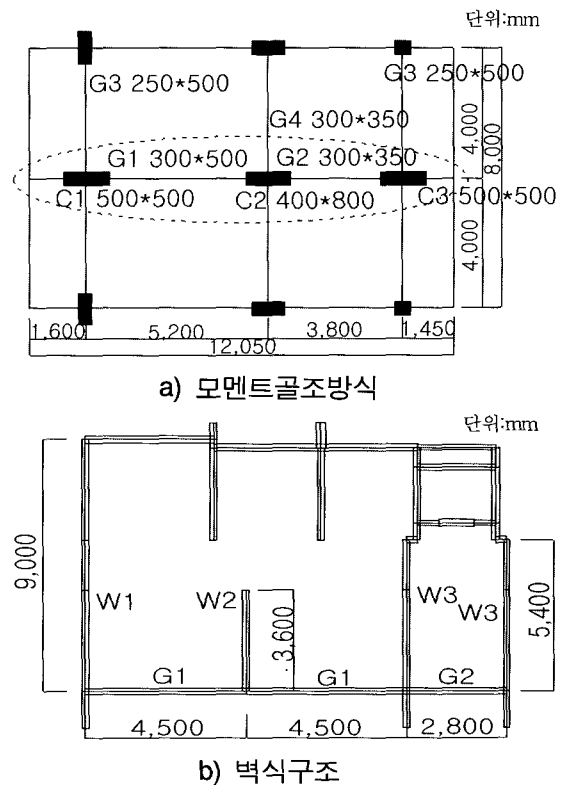


그림 1. 표준형(9층) 건축물의 단위평면 예

### 2.2 표준형 건축물의 성능점 선정

서울시에 의해 발주되고 지진공학 연구센터에서 수행한 “서울시 지진대응 모델개발”에 관한 연구에서 수

도권 일대에서 발생할 수 있는 지진을 남한산성 부근, 서울 동부지역, 그리고 서부지역의 3군데로 예측하였으며, 이들 3군데 지진 중에 강남구에 영향을 미치는 최대 가상 지진은 남한산성에 발생하는 지진이며, 이 지진에 의해 강남구 지역에 미치는 규모는 7에 해당하는 것으로 이 보고서는 추정하고 있으므로 해석에 적용된 지진력은 설계 기준인 0.11g와 최대 지진 0.15g로 설정한다. 각 층수 모델의 구조체 간격 및 층고는 구조 해석상에서 건축물의 내진 저항성능에 유리한 상태를 설정하여 대략 하한 평균치를 사용하고, 대상 건축물의 성능평가 시에는 이들 치수의 증가치를 고려하여 평가를 수행한다. 재료의 강도는 철근의 항복강도 240MPa, 콘크리트의 압축강도는 21MPa로 가정한다. 탄소성 해석에 적용된 프로그램은 건축구조물 비선형 해석 프로그램으로서 현재 국내에서 사용되고 있는 DRAIN-2DX 프로그램을 사용한다. 벽식구조의 해석은 휨 변형과 전단 변형을 하는 내진벽을 탄소성 해석이 가능한 부재로 치환하기 위하여 기둥부재 치환법을 사용하였다. 기둥부재 치환법은 <그림 2>와 같이 전단벽을 부재의 축 중심에 위치하는 기둥부재로 치환하여 기둥부재의 단면력인 휨모멘트, 전단력, 축력으로 저항하는 방법으로, 전단벽 부분의 보는 강역으로 취급하여 해석한다.

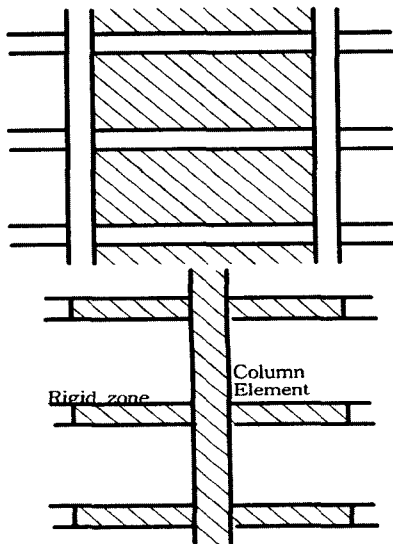


그림 2. 기둥부재 치환모델

이 방법은 해석이 비교적 간단하고 입·출력 데이터의 작성이 쉬운 것이 장점이다. 치환 후의 단면2차 모멘트는 기존의 양단 보강기둥과 벽의 복합 단면2차 모멘트를 사용하며, 치환 후의 단면적은 벽 및 기둥 단면적의 합으로 한다. 각 표준형 건축물에 대한 산정된 성능점의 일부를 <그림 3>에 나타낸다.

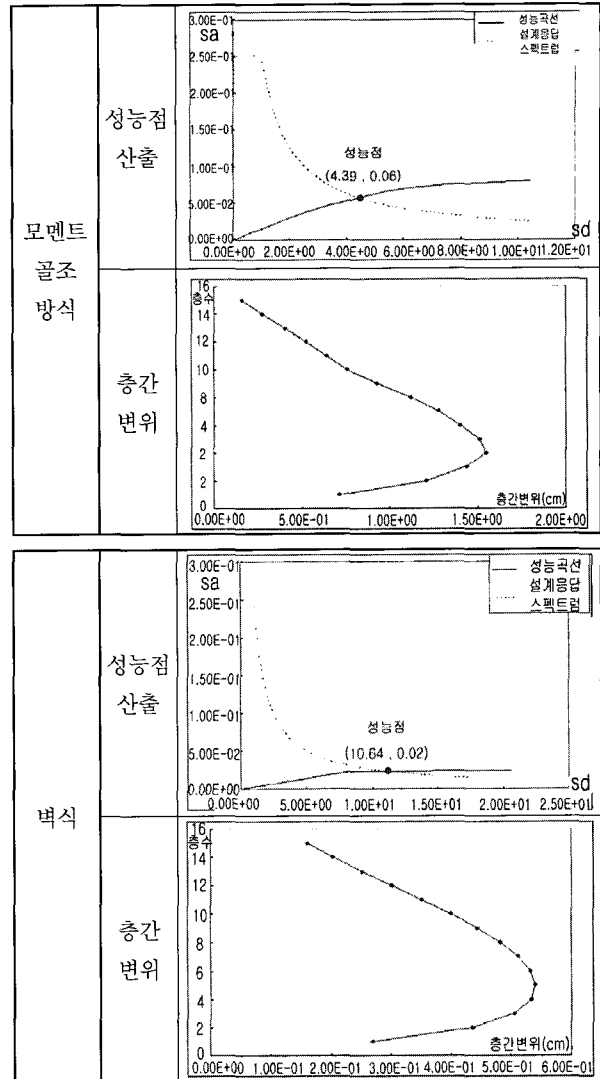


그림 3. 15층 건축물 성능점 산출 (지진하중 0.11g, 지반계수1.0)

강남구 지역의 지반을 평가하기 위해 서울시의 기본 조사 보고서에 기록된 강남구 관련 표토층 자료 45개를 정리하여 강남구 전 지역을 등간격으로 구적화<그림 4>한 후 직선보간법과 주변환경(하천, 습지분포 등)을 고려하여 지반계수를 산정한다.

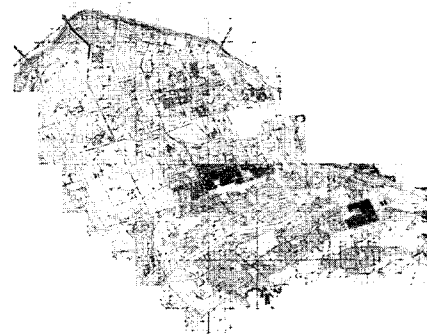


그림 4. 강남구 대상 구적지도

### 2.3 피해 평가 기법

건축물의 지진피해를 평가하기 위해서는 각 건축구조형식별 취약도 함수가 설정되어야 하며, 이 함수는 지진피해 조사결과 기존 건축물의 구조특성을 반영하여 통계적 수법으로 작성되지만, 우리나라에서는 이에 대한 구체적 연구결과가 없어 외국의 취약도 함수를 사용하거나 준용하는 실정이다. 그러나, 외국의 취약도 함수는 자국 건축물의 특징에 맞도록 작성되어 있기 때문에 강진 지역의 취약도 함수를 그대로 국내에 적용하기에는 무리가 있으므로 본 연구에서는 건축물의 지진피해를 일반적으로 표현할 수 있는 건축물 층간변위를 표준형 건축물의 비선형 정적해석과 설계응답 스펙트럼 해석으로 산정된 성능점에서 구하여 기율기에 따른 성능판단 기준 중 지진피해 평가에 주로 사용되는 HAZUS의 층간변위 기준<표 1>을 준용한 평가와 HAZUS의 취약도 함수를 준용한 평가의 두 종류의 피해 평가를 수행한다.

표 1. HAZUS의 층간변위 기준  
(Pre-Code Seismic Design Level)

| Building Types | Slight | Moderate | Extensive | Complete |
|----------------|--------|----------|-----------|----------|
| C1L            | 0.0040 | 0.0064   | 0.0160    | 0.0400   |
| C1M            | 0.0027 | 0.0043   | 0.0107    | 0.0267   |
| C1H            | 0.0020 | 0.0032   | 0.0080    | 0.0200   |
| C2L            | 0.0032 | 0.0061   | 0.0158    | 0.0400   |
| C2M            | 0.0021 | 0.0041   | 0.0105    | 0.0267   |
| C2H            | 0.0016 | 0.0031   | 0.0079    | 0.0200   |

C1 : Reinforced Concrete Moment Resisting Frames

C2 : Concrete Shear Walls

L : Low-Rise

M : Mid-Rise

H : High-Rise

### 3. 지진피해 평가

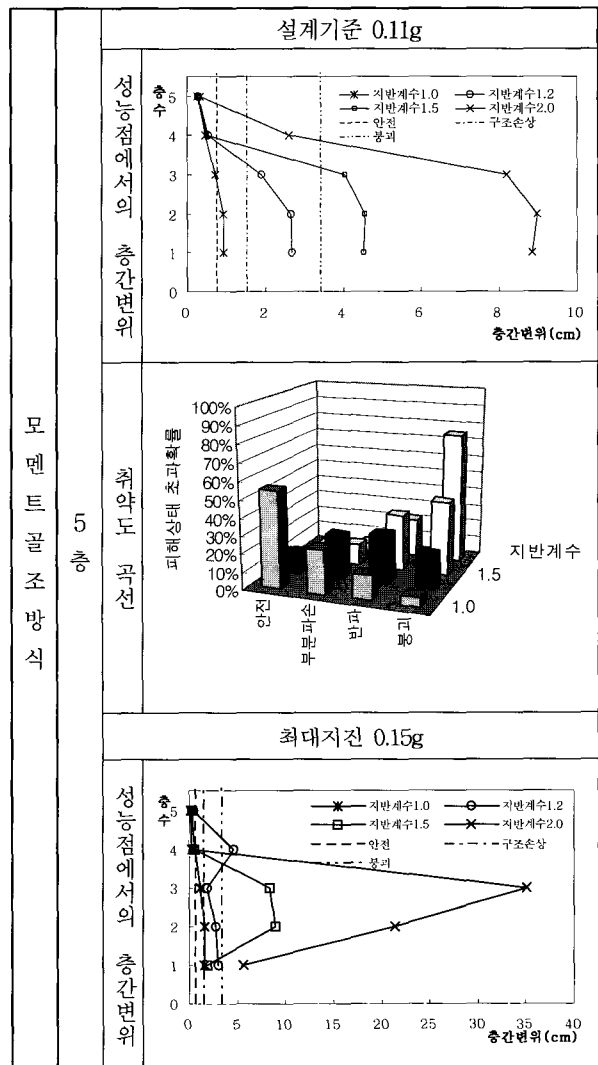
#### 3.1 건축물의 층간변위에 의한 평가

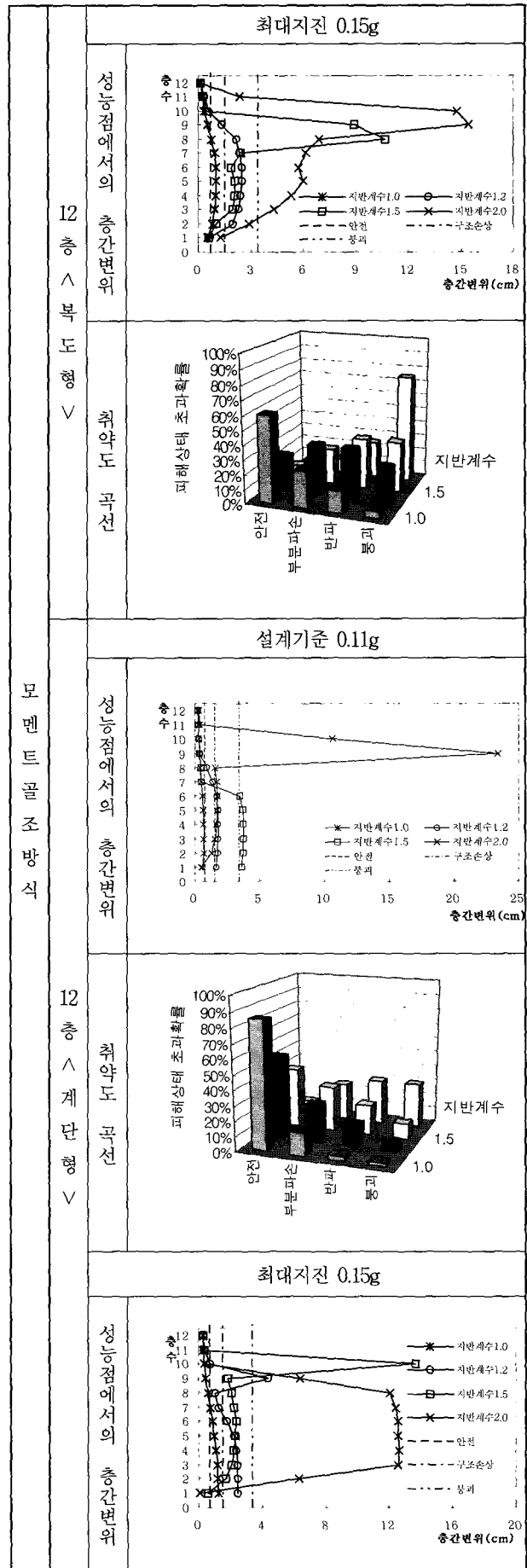
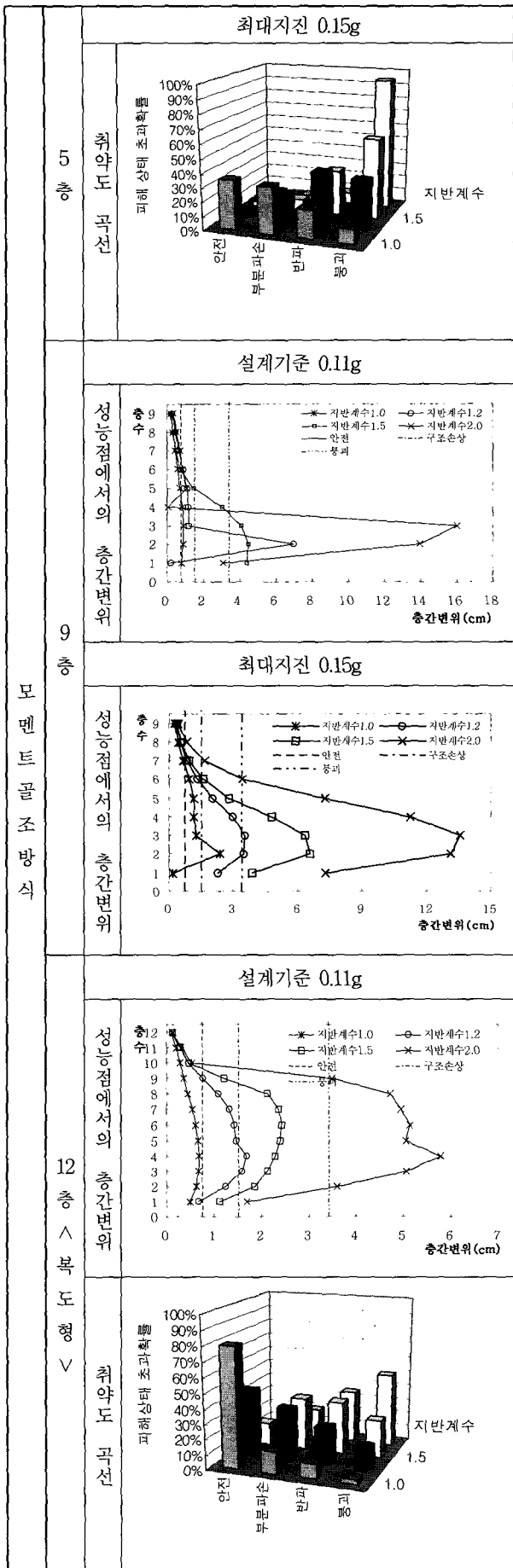
구조해석으로 얻어진 성능점에서의 층간변위는 <그림 5>에 표시한다. 그림에서 보여진 성능점에서의 층간변위에 대한 피해 평가를 정리하면 다음과 같다.

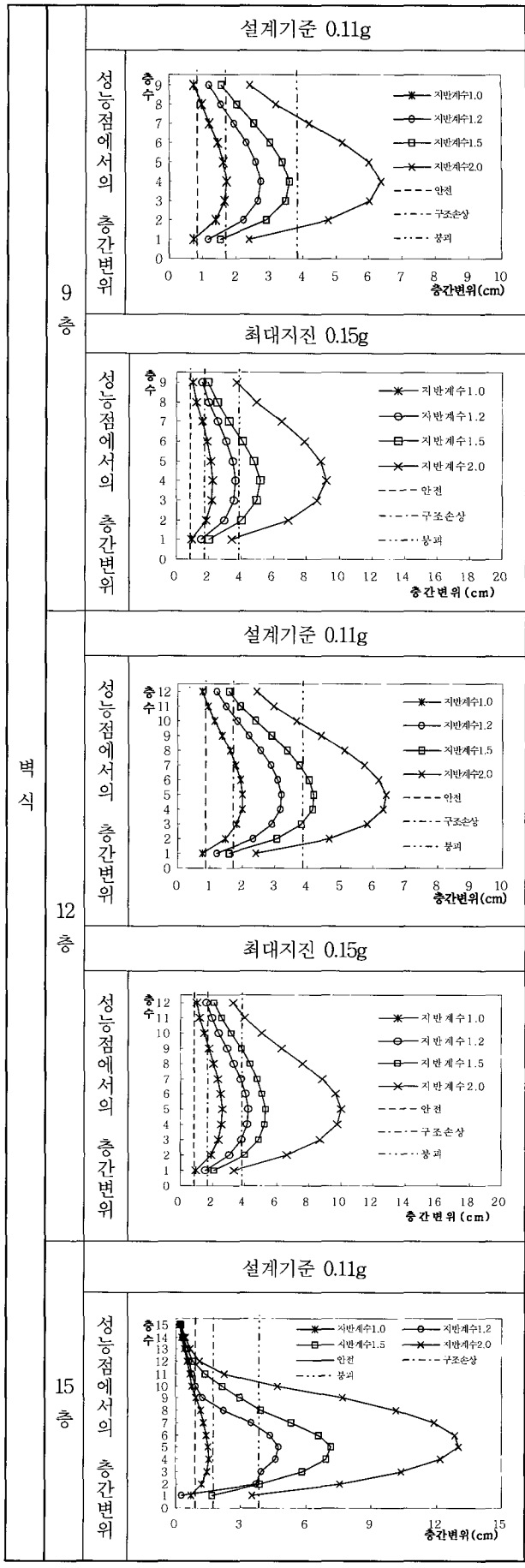
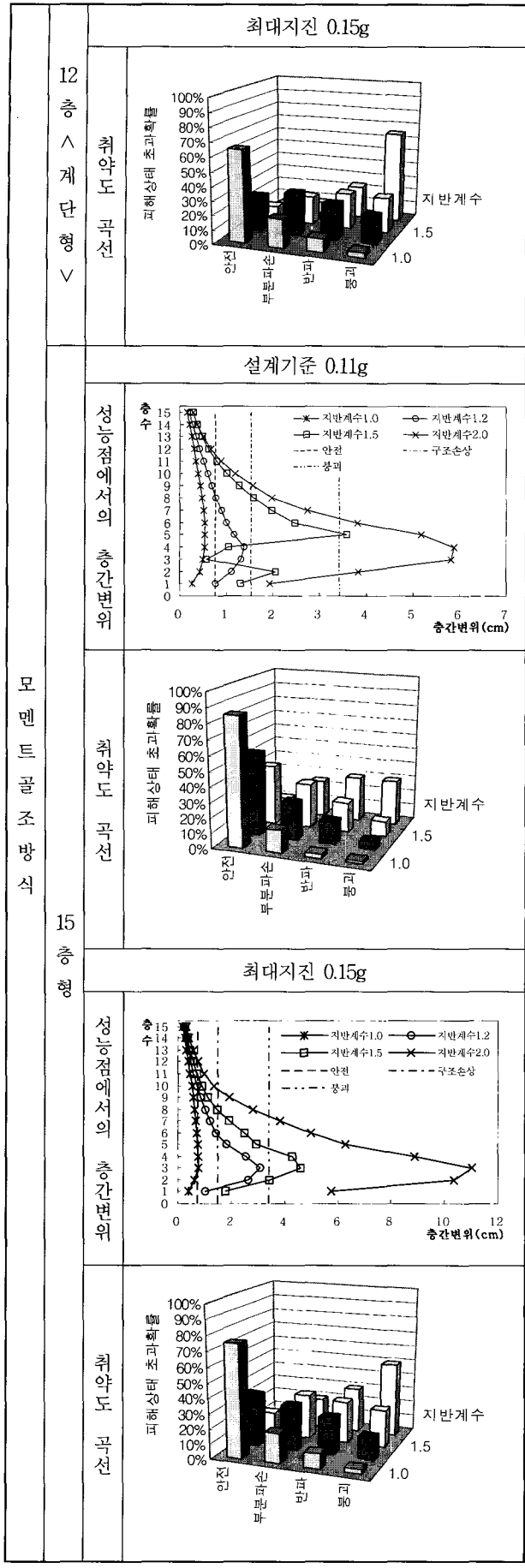
라멘 5층형 건축물에서 지진 하중이 0.11g일 때 상대적으로 보다 큰 인명피해를 초래할 수 있는 저층부인 1·2·3층에서 지반계수가 1.5인 경우에는 심각한 구조적 손상, 2.0인 경우에는 붕괴를 일으킨다. 그리고 가장 지진이 0.15g일 때 저층부인 1·2·3층에서 지반계수가 1.0·1.2인 경우 심각한 구조적 손상을 입히고, 지반계수가 1.5·2.0인 경우에는 붕괴를 일으키며, 특

히 3층에 손상이 집중된다. 라멘 9층형 건축물은 0.11g일 때 1.2인 경우에는 2층에서만 붕괴를 일으키나, 1.5인 경우에는 1~3층은 붕괴를, 4층은 구조적 손상을 일으킨다. 지반계수가 2.0인 경우에는 1층은 구조적 손상을, 2·3층은 붕괴를 일으킨다. 0.15g일 경우, 지반계수가 1.0인 경우에는 2층에서, 1.2인 경우에는 1~5층에서 구조적 손상을 일으키고, 1.5인 경우에는 2~4층에서, 2.0인 경우에는 1~5층에서 붕괴를 일으킨다. 지진 하중의 크기에 상관없이 상대적으로 보다 큰 인명피해를 초래할 수 있는 저층부에 손상이 집중됨을 알 수 있다.

라멘 12층 계단형 건축물은 0.11g일 때, 지반계수가 1.5인 경우에는 2~8층에서 구조적 손상을, 2.0인 경우에는 3~8층에서 붕괴를 일으킨다. 상대적으로 중층부에 손상이 집중됨을 알 수 있다. 0.15g일 때 1.2인 경우에는 2~8층에서 구조적 손상을, 1.5인 경우에는 8~9층에서 붕괴를, 2.0인 경우에는 3~10층에서 붕괴를 일으킨다. 상대적으로 상층부에 손상이 집중되며, 라멘







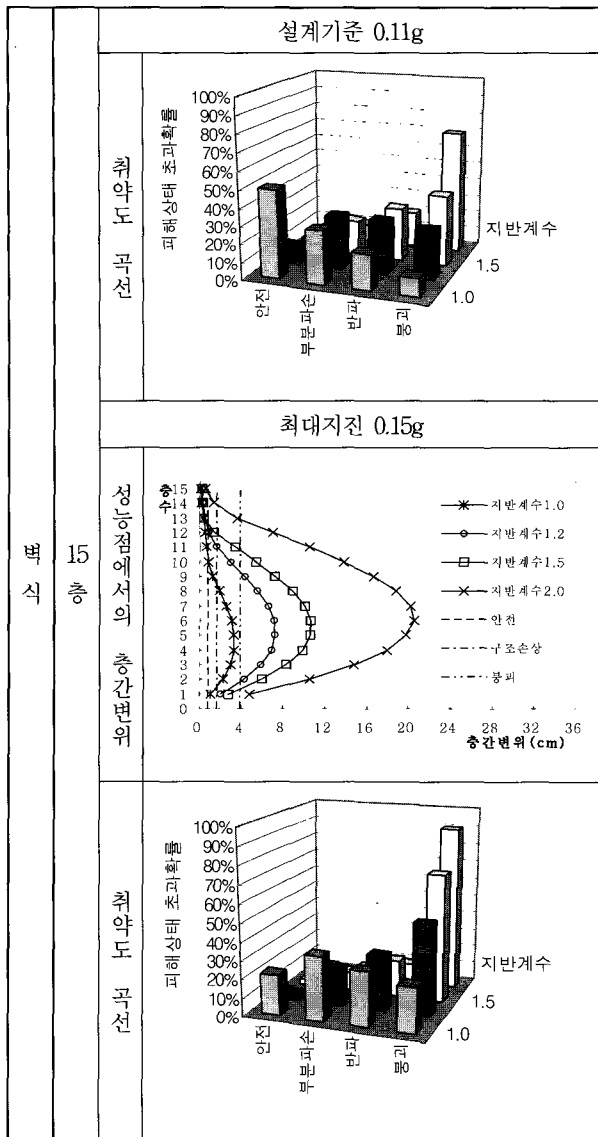


그림 5. 표준형 건축물의 지진피해평가

12층 복도형 건축물은 0.11g일 때 지반계수가 1.5인 경우에는 1~6층에서 구조적 손상을, 2.0인 경우에는 9~10층에서 붕괴를 일으키고 특히 9층의 손상집중도가 상당히 높다. 그리고 0.15g일 때 지반계수가 1.2인 경우에는 9층에서 붕괴를, 1.5인 경우에는 특히 손상집중도가 높은 10층에서 붕괴를, 2.0인 경우에는 2~9층에서 붕괴를, 특히 3~8층에서 손상집중도가 높다. 라멘 15층형 건축물은 지진하중이 0.11g일 때 지반계수가 1.5인 경우 2층과 5~8층에서 구조적 손상을, 2.0인 경우에는 3~5층에서 붕괴를, 그리고 0.15g일 때 지반계수가 1.2인 경우 2~5층에서 구조적 손상을, 1.5인 경우에는 3~4층에서 붕괴를, 2.0인 경우에는 1~6층에서 붕괴를 일으킨다.

벽식 9층형 건축물은 지진 하중이 0.11g일 때 지반계수가 1.0인 경우에는 3~4층에서, 1.2인 경우 2~7층

에서, 1.5인 경우 2~8층에서 구조적 손상을, 2.0인 경우에는 2~7층에서 붕괴를 일으킨다. 그리고 0.15g일 때 지반계수가 1.0인 경우 2~6층에서, 1.2인 경우 2~8층에서 구조적 손상을, 1.5인 경우 2~7층에서, 2.0인 경우에는 2~8층에서 붕괴를 일으킨다. 하중조건 변화에 관계없이 중층부에 손상이 집중됨을 알 수 있다. 벽식 12층형 건축물은 지진 하중이 0.11g일 때 지반계수가 1.0인 경우 3~7층에서, 1.2인 경우 2~10층에서 구조적 손상을, 1.5인 경우 4~6층에서, 2.0인 경우 2~9층에서 붕괴를 일으킨다. 0.15g일 때, 1.0인 경우 2~9층에서 구조적 손상을, 1.2인 경우 4~6층에서, 1.5인 경우 2~9층에서, 2.0인 경우 2~11층에서 붕괴를 일으킨다. 벽식 15층형 건축물은 지진하중이 0.11g일 때 지반계수가 1.2인 경우 3~6층에서, 1.5인 경우 2~8층에서, 2.0인 경우 2~10층에서 붕괴를 일으킨다. 0.15g일 때 지반계수가 1.0인 경우 2~8층에서 구조적 손상을, 1.2인 경우 2~9층에서, 1.5인 경우 2~10층에서, 2.0인 경우 1~12층에서 붕괴를 일으킨다. 전반적으로 벽식 구조가 지진 하중에 취약하게 평가된다.

라멘형·벽식형 표준형 건축물에 대한 성능점에서의 층간 피해 분포에 있어서 라멘형 5층·9층·15층형 건축물은 상층부에서는 피해가 거의 일어나지 않는 반면에, 상대적으로 보다 큰 인명피해를 초래할 수 있는 저층부에서의 손상집중도가 상당히 높음을 알 수 있다. 그러나 라멘형 12층 계단·복도형 건축물과 벽식형 건축물은 저층부와 상층부에 비해 중층부에 손상이 집중됨을 알 수 있다. 특히 라멘형 12층 복도형 건축물의 경우 지반의 조건에 따라서 층간 피해 분포가 상층부에서 중층부로 집중되는 것을 알 수 있다. 최대 지진 하중 0.15g에 대해서는 견고한 지반에 시공되지 않은 대부분의 대상 건축물은 심각한 구조적 손상이나 붕괴위험이 있으며, 설계 하중 0.11g에서도 지반계수가 2.0인 경우 붕괴를 초래하는 건축물이 많을 것으로 평가된다.

### 3.2 취약도 곡선에 의한 평가

#### 3.2.1 취약도 곡선의 산출

건물의 피해함수는 정규로그 함수인 취약도 곡선(Fragility Curve)의 형태이다. 각 취약도 함수는 스펙트럼 변위 혹은 스펙트럼 가속도 등의 인자의 중앙값으로 정의되며, 이는 각 피해 상태의 최소값에 해당한다. 예를 들어, 스펙트럼 변위  $S_d$ 는 주어진 피해 상태에서 다음 식과 같이 분포된다.

$$S_d = \overline{S_{d,ds}} \cdot \epsilon_{ds}$$

여기서,  $\overline{S_{d,ds}}$  : 피해상태의 스펙트럼 변위의 중앙값  
 $\epsilon_{ds}$  : 정규로그 랜덤 함수

보다 일반적인 취약도 곡선의 경우 정규로그 표준편차  $\beta$ 는  $\beta_R$ (Randomness Component)과  $\beta_U$ (Uncertainty Component)로 표현된다. 이러한 무작위성과 불확실성을 분리하는 것이 용이하지 않으므로 표준편차는 취약도 곡선을 정의하는데 사용된다. 이러한 접근 방법은 미국 미시시피계곡 지역의 6개 도시의 강진 피해를 조사하기 위해 개발되어 사용되었던 취약도 함수와 유사하다. 주어진 스펙트럼 변위  $S_d$ 에서 구조물이 피해 상태  $ds$ 에 도달하거나 혹은 초과하게 될 확률을 다음 식과 같은 모델로 정의하였다.

$$P[ds/S_d] = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln\left(\frac{S_d}{\overline{S_{d,ds}}}\right)\right]$$

여기서,

- $\overline{S_{d,ds}}$  : 피해상태에 도달하게 될 스펙트럼 변위의 중간값
- $\beta_{ds}$  : 피해 상태의 스펙트럼 변위의 자연 로그의 표준편차
- $\Phi$  : 표준 정규 누적 분포 함수

피해 상태의 스펙트럼 변위의 자연 로그의 표준편차  $\beta_{ds}$ 는 현재 우리나라의 자료의 부족과 연구결과에 대한 검토가 충분하지 못하여 FEMA의 HAZUS에 제시되어 있는 값들을 보간법을 이용하여 적용하였다. <표 2>는 본 연구의 표준형 건축물에 대해 피해상태에 도달하게 될 스펙트럼 변위의 중간값  $\overline{S_{d,ds}}$ 와 피해상태의 스펙트럼 변위의 자연로그의 표준편차  $\beta_{ds}$ 의 값을 정리한 것이다.

표 2. 스펙트럼 변위의 중간값  $\overline{S_{d,ds}}$ 과 표준편차  $\beta_{ds}$

| 표준형 건축물     |            | Spectral Displacement(inches) |      |        |      |        |      |
|-------------|------------|-------------------------------|------|--------|------|--------|------|
|             |            | 안전                            |      | 구조적 손상 |      | 붕괴     |      |
|             |            | Median                        | Beta | Median | Beta | Median | Beta |
| 라<br>멘<br>형 | 5층형        | 1.16                          | 0.75 | 2.33   | 0.79 | 5.21   | 0.87 |
|             | 9층형        | 2.56                          | 0.77 | 5.13   | 0.85 | 11.5   | 0.93 |
|             | 12층<br>계단형 | 3.37                          | 0.80 | 6.75   | 0.90 | 15.1   | 0.98 |
|             | 12층<br>복도형 | 3.25                          | 0.80 | 6.51   | 0.90 | 14.6   | 0.98 |
|             | 15층형       | 3.94                          | 0.83 | 7.88   | 0.96 | 17.6   | 1.04 |
| 벽<br>식<br>형 | 9층형        | 2.29                          | 0.80 | 4.59   | 0.85 | 10.3   | 0.90 |
|             | 12층형       | 3.14                          | 0.76 | 6.28   | 0.88 | 14.1   | 0.95 |
|             | 15층형       | 3.92                          | 0.72 | 7.84   | 0.91 | 17.5   | 1.00 |

구조물의 취약도 곡선은 소정의 손상수준을 초과할 확률을 응답변위의 함수로 표현한 것이고, 성능점에서의 스펙트럼 변위의 값을 이용하여 주어진 취약도 곡선으로부터 특정 피해상태의 초과확률을 계산하게 된다. <그림 6>는 표준형 건축물에 대한 취약도 곡선을 보여준다.

### 3.2.2 취약도 곡선에서의 지진피해 평가

피해 정도의 평가방법은 비선형 정적 해석을 통하여 도출된 대상 건축물들의 성능곡선과 비탄성 변형을 고려하는 지반운동에 대한 설계응답 스펙트럼을 통해 표준형 건축물의 성능점을 산출하고, 산출된 성능점의 스펙트럼 변위에 의하여 취약도 곡선에서 지진피해 평가를 수행한다. 표준형 건축물의 취약도 곡선에서의 지진피해 평가 결과를 <그림 5>에서 성능점에서의 층간변위와 같이 보여준다.

지진 하중이 0.11g일 때 취약도 곡선에 의한 피해평가를 행한 결과, 라멘형 건축물은 지반계수가 1.0인 경우 모든 표준형 건축물이 안정적인 거동을, 1.2인 경우 12층 계단형·12층 복도형·15층 건축물은 안정적인 거동을 보이고, 9층 건축물은 구조물에 부분적인 파손을 일으키는 반면 5층 건축물은 구조물에 심각한 손상이 예측된다. 1.5인 경우 15층 건축물은 안정적인 거동을 보이고, 12층 계단형 건축물은 구조물에 부분적인 파손을, 9층·12층 복도형 건축물은 구조물에 심각한 손상을, 5층 건축물은 구조물이 붕괴에 이르는 거동을 보인다. 2.0인 경우에는 모든 표준형 건축물이 붕괴에 이르는 것으로 추정된다. 벽식형 건축물은 지반계수가 1.0인 경우 15층 건축물은 안정적인 거동을 보이고, 9층·12층 건축물은 구조물에 부분적인 파손을, 1.2인 경우에는 모든 표준형 건축물이 구조물에 심각한 손상을, 1.5인 경우 9층 건축물은 붕괴를, 2.0인 경우에는 모든 표준형 건축물이 붕괴되는 것으로 추정된다.

지진 하중이 0.15g일 때 취약도 곡선에 의한 피해평가 결과, 라멘형 건축물은 지반계수가 1.0인 경우에는 5층형 건축물은 구조물에 부분적인 파손을 일으키나 그 외의 건축물은 안정적인 거동을, 1.2인 경우 15층 건축물은 안정적인 거동을, 9층·12층 계단형·12층 복도형 건축물은 구조물에 부분적인 파손을 일으키는 반면에 5층 건축물은 심각한 손상을 입을 것으로 예측된다. 1.5인 경우에는 15층 건축물은 부분적인 손상을, 12층 계단형·12층 복도형 건축물은 심각한 손상을, 5층 건축물은 붕괴를, 2.0인 경우 모든 표준형 건축물이 붕괴에 이르는 것으로 추정된다. 벽식형 건축물은 지반계수가 1.0인 경우에는 모든 표준형 건축물에 부분적



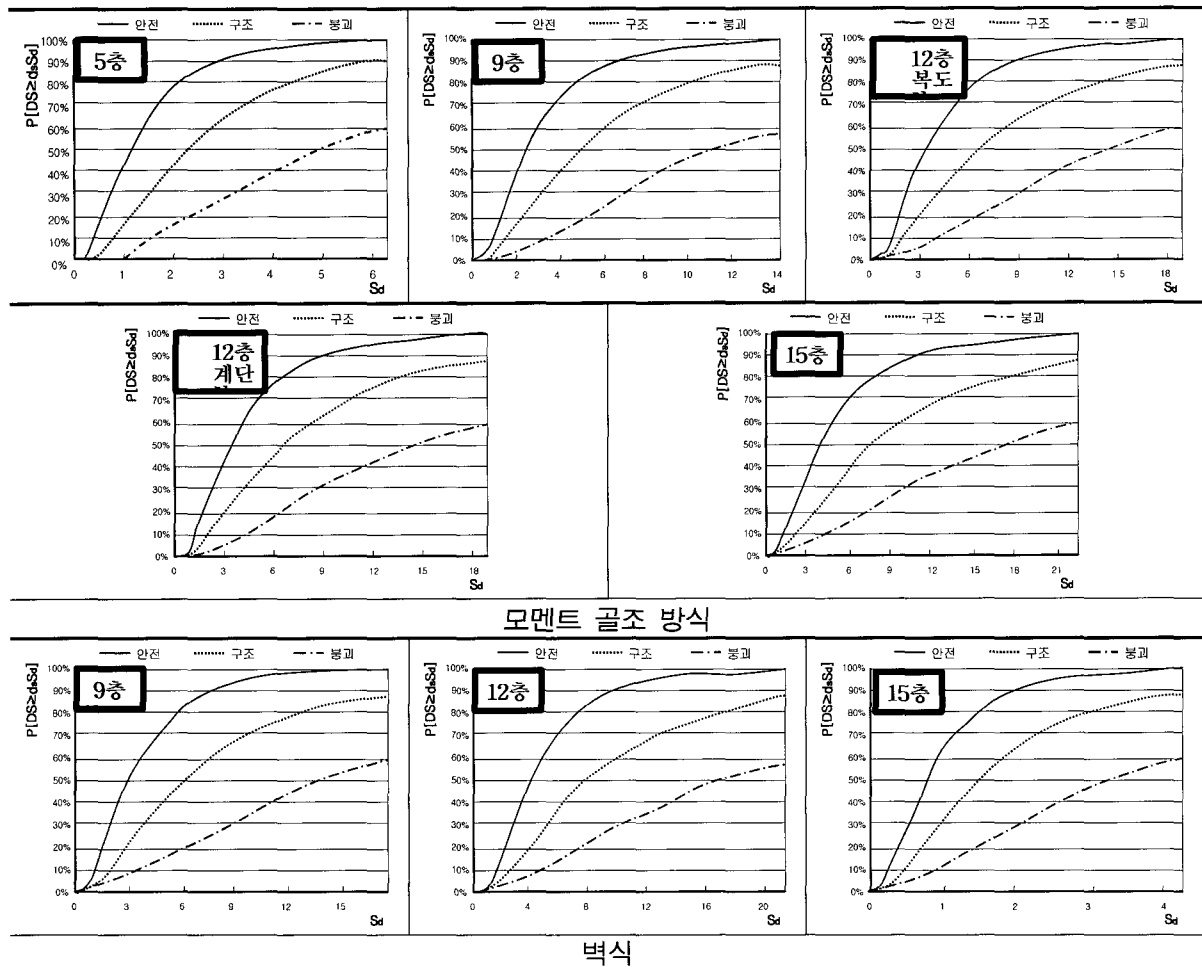


그림 6. 표준형 건축물의 취약도 곡선

인 손상을, 1.2인 경우 9층 건축물은 심각한 손상을 일으키나, 12층·15층 건축물은 붕괴에 이르는 거동을, 지반계수가 1.5와 2.0인 경우에는 표준형 건축물이 붕괴된다.

성능점에서 층간변위에 대한 지진피해 평가와 마찬가지로 라멘형 표준형 건축물은 저층일수록 내진성능이 떨어져 좀더 심한 지진피해를 입는 반면에 벽식형 표준형 건축물은 고층일수록 내진성능이 떨어져 좀더 심한 지진피해를 입는 것으로 추정되었다.

### 3.2.3 피해평가 결과의 비교

표준형 건축물에 대한 층간변위와 취약도 곡선에 의한 피해평가 결과를 비교하여 보면 2/3정도는 동일한 평가 결과를 나타내나 1/3정도에서는 한단계정도 상이한 결과를 나타낸다. <표 3>은 상이한 결과를 보여준 항목을 정리한 것이다. 전반적으로 취약도 함수에 의한 평가가 피해정도를 높게 평가하는 경우(13개 항목, 65%)가 낮게 평가하는 경우(7개 항목)보다 많았으며, 벽식 건축물의 상이확률(33%)이 라멘형(30%)보

다 약간 높으나 유사하다 볼 수 있다. 벽식의 경우 피해정도가 심한 것으로 상향평가(6개, 75%)한 경우가 하향평가(2개)한 경우보다 많으며, 라멘형 건축물의 상향평가확률(62%)과 전체확률(65%)과를 비교하여도 상향평가확률이 높다. 지진 하중의 크기에 의한 영향은 상이률에 있어 두 하중간(0.11g : 11개 55%, 0.15g : 9개 45%)에 큰 차를 보이지 않으나 지반계수에서는 1.0인 경우가 상이율로 12%정도로, 1.2(44%), 1.5(38%), 2.0(31%)의 경우와 비교하여 상당히 낮은 것으로 나타남으로 지반이 암반일 때 지진피해 평가의 정확도가 높은 것으로 추정된다. 지진 하중 0.11g인 경우는 상·하향 평가(상향평가 : 6개, 하향평가 : 5개)가 유사하게 나타나나, 0.15g인 경우는 상향평가(상향 : 6개, 하향 : 3개)가 높게 나타난다. 지반계수 2.0인 경우 5개항 전부 상향평가되었고, 1.5인 경우도 7개항 중 6개항이 상향평가되었으나, 1.2인 경우에는 6개항 중 4개항이 하향평가되는 경향을 나타내고 있어 지반계수에 따라 평가경향이 역전되는 현상에 대해서 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

표 3. 피해 평가 기법 간의 상이점 비교

| 표준형 건축물  |         | 지반계수  | 층간변위 | 취약도곡선 |   |
|----------|---------|-------|------|-------|---|
| 모멘트-골조방식 | 5층      | 0.11g | 1.5  | E     | C |
|          | 9층      | 0.11g | 2.0  | E     | C |
|          |         | 0.15g | 1.2  | E     | M |
|          | 12층 계단형 | 0.11g | 1.5  | E     | C |
|          |         |       | 2.0  | E     | C |
|          | 12층 복도형 | 0.11g | 1.2  | M     | S |
|          |         |       | 2.0  | E     | C |
|          | 15층     | 0.11g | 1.5  | M     | S |
|          |         |       | 2.0  | E     | C |
|          |         | 0.15g | 1.2  | M     | S |
| 2.0      |         |       | E    | C     |   |
| 벽식       | 9층      | 0.15g | 1.5  | E     | C |
|          | 12층     | 0.11g | 1.5  | E     | C |
|          |         |       | 1.0  | E     | M |
|          |         | 0.15g | 1.2  | E     | C |
|          |         |       | 1.5  | E     | C |
|          | 15층     | 0.11g | 1.0  | M     | S |
|          |         |       | 1.5  | E     | C |
|          | 0.15g   | 1.2   | E    | C     |   |

\* C:붕괴, E:반파, M:부분파손, S:안전

#### 4. 결 론

본 연구는 수도권 일대에서 발생할 수 있는 최대 가상 지진에 대한 국내 내진 설계 기준 설정 이전에 설계된 철근콘크리트 아파트 건축물들의 지진피해평가를 수행하고자 하였다. 본 연구를 통해서 얻어진 사항을 정리하면 다음과 같다.

1. 비내진 설계된 철근콘크리트 아파트들은 발생이 추정되는 대규모 지진인 0.15g인 경우에 대해서 극히 취약한 구조 성능을 가지고 있는 것으로 판단되어지며, 대규모 지진의 발생 시 이로 인해 구조물 붕괴 가능성이 구조형식이나 규모에 상관없이 상당히 높은 것으로 판단되어 엄청난 인명 피해를 동반한 진재가 발생할 것으로 보인다. 또한 국내 내진설계 기준인 0.11g인 경우에도 붕괴 가능성이 있는 건축물이 상당수 있다.
2. 지진 하중이 0.11g에서 0.15g로 변화할 때 지반계수가 커질수록 지진피해의 증가폭이 더 커지고, 특히 벽식 15층형 건축물의 증가폭이 다른 표준

형 건축물보다 상대적으로 더 크다.

3. 라멘형 표준형 건축물보다 벽식형 표준형 건축물의 내진성능이 더 취약한 것으로 나타났으며, 라멘형 표준형 건축물에서는 저층일수록 벽식 표준형 건축물에서는 고층일수록 좀 더 심각한 지진 피해를 입는다.
4. 피해 평가 기법간의 비교결과 2/3정도는 동일한 결과를 나타내고 있으며 취약도 함수에 의한 평가가 피해정도를 높게 평가하는 경향이 있다. 지반계수가 1.0인 경우는 유사한 평가결과를 나타내고, 2.0과 1.5인 경우에는 상향평가하는 경향이 강하나 1.2에서는 하향평가하는 경향이 있어 이에 대한 심도있는 연구가 필요하다.

본 연구는 특정지역의 특정양식에 대한 평가를 보여준 것으로 이 결과를 토대로 다양한 지역의 현황조사 및 본격적인 연구의 진행이 필요하며, 이들 연구 결과를 기반으로 HAZUS와 같은 효율적인 지진피해 평가 시스템의 구축을 모색해야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 “2004년도 서울시립대학교 교내연구비의 지원과 강남구청의 협조”로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- 강양석 (2004) “우리나라 도시의 재해위험과 대책” 아산재단심포지움, 103~125쪽.
- 강익범, 박정호 (2002) “HAZUS를 이용한 충남지역의 지진피해 연구” 73~83쪽.
- 건설교통부령 (2000) “건축물의 구조기준 등에 관한 규칙”.
- 건설교통부 (2002) “우리나라 중저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해 예측 및 보수보강법 연구”.
- 국립방재연구소 (2002) “地震에 對한 地域危險度 分析 研究”.
- 권기혁 (2004) “도시형 재난에서의 IT 활용방안”, 서울시정발전을 위한 도시과학 심포지움, 40~43쪽.
- 대한건축학회 (2004) “건축물 하중기준 및 해설” 1호
- 대한건축학회 (2005) 건축구조설계기준.
- 문태섭 외 (1999) “매트릭스 구조해석”, 기문당, 213-216쪽.
- 서울특별시 (1996) “서울특별시 지하수 관리계획 기본조사 보고서”.
- 서울특별시 (1999) “서울시 지진대응 모델 개발”.
- 서울특별시 (2003) “지진의 이해”.

서울특별시 (2004) "GIS를 이용한 안전방재지도 작성 방안 연구".

이원호 (2002) "국내 내진성능 평가기법의 현황", 한국 도시방재학회세미나, 3~24쪽.

FEMA (1997) "Earthquake Loss Estimation Methodology", FEMA.

FEMA (1997) "HAZUS Technical manual vol. I,II", FEMA.

K. C. Tsai, J. W. Li (1994) "DRAIN2D - A General

Purpose Computer Program for Static and Dynamic Analyses of Inelastic 2D Structures Supplemented with a graphic processor".

◎ 논문접수일 : 2005년 11월 18일

◎ 심사의뢰일 : 2005년 11월 21일

◎ 심사완료일 : 2005년 12월 23일