

대도시지역 철근콘크리트 건축물의 지진후 신속평가

기준설정에 관한 연구

권 기 혁 · 노 희 일

(서울시립대학교 건축공학과)

Rapid Evaluation Criteria for Post-earthquake Safety Evaluation of R.C. Buildings

Kwon, Ki Hyuk · Roh, Hee Il

ABSTRACT

Currently most structures are built by reinforced concrete system in Seoul. Through this study, the results of rapid evaluation for them which are potentially seismic damageable are as followings;

- 1) The considerable reinforced concrete systems for *Rapid Evaluation* are moment resisting frame system, shear wall system and shear wall system supported by framed structures.
- 2) Since *Rapid Evaluation* is performed by visual examination, it is used to evaluate for the possibility of collapse. If a building is found to have no hazard even the evaluation result is slightly damaged, the final evaluation is safe. It is desirable to be evaluated by *Detailed Evaluation* for additional condition.
- 3) For shear wall system supported by framed structure, earthquake energy is concentrated on lower system due to difference of stiffness distribution of upper and lower system. So *Rapid Evaluation* should be performed strictly.
- 4) Evaluations for each criterion are listed in Table 4.2.

1. 서론

1.1 연구의 필요성

최근에 들어서 국내의 지진발생빈도수가 증가하고 있어 한반도 지역의 지반이 지진 활동기에 들어선 것이 아닌가 하는 우려가 증대되고 있다. 한반도는 환태평양지진대에 놓여진 일본과는 달리 이 지진대에서 약간 떨어진 판 외곽부에 놓여져 있는 지진 구역상 무지진 지역이 아닌 중약지진지역으로 분류되고 있어, 한반도는 지진의 안전지대가 아닌 것이다. 국내에서도 국외에서 발생한 다수의 대규모 지진에 의한 막대한 피해를 보고 난 후 지진에 대한 대책을 세우기 위한 일련의 노력이 국가적차원에서 진행되고 있다.

지진방재대책은 우선 목표는 지진으로 인한 사회적 · 경제적 충격을 최소화하는 것이며, 인명손상의 방지를 위한 대책이 주요한 요소가 된다. 진재대책은 지진발생전과 발생 후로 크게 두개의 단락으로 나눌 수 있다.

지진발생전 단계는 지진발생에 의한 시설물의 붕괴와 손상을 방지하기 위한 내진설계와 기존 시설물의 내진성능향상 그리고 지진대응시스템의 구축으로 주로 구성되어지며, 지진발생후 단계는 지진피해평가와 화재의 진화, 구조 · 수습 및 복구활동이 주요 진재대책이 된다. 본 연구의 대상이 되는 지진후 신속평가는 지진발생후 단계 중 지진피해정도를 조사 · 평가하는 기본적인 단계이다.

이러한 신속평가에 구조전문가를 투입하여 평가를 행하는 것이 가장 바람직한 조치이지만 대도시에서 발생하는 지진은 그 피해영역이 광범위하며 피해를 입은 건축물의

개소도 많을 뿐 아니라 긴급 동원 체계를 가지고 있지 않은 구조전문가를 신속히 소집하여 조직적으로 현장에 투입하는 것은 극히 어려운 일이다. 따라서 외국의 경우에도 신속손상평가는 단기간의 교육을 이수한 관계공무원들이 투입되어 수행하는 것이 일반적이다. 이들 관계공무원은 건축물에 대한 구조적 지식이나 지진 관련 사전 지식이 거의 없는 경우도 있어 전문적인 구조지식이나 경험이 없이도 건축물의 위험성에 대해 비교적 정확한 판정을 할 수 있는 기준들을 설정하고 이를 통한 교육의 필요성이 지진후 신속평가를 효율적이고 신뢰성 있게 진행할 수 있는 기본적 요소라 하겠다.

지진에 의한 피해는 구조형식과 구조재료에 따라 그 피해정도에 차이가 있는 지금까지의 지진피해 분석에서 보면 중 · 저층 규모의 건축물에서, 재료면에서는 철근콘크리트, 블록, 석재 등 인장강도가 약한 구조물에서 많은 피해가 나타나고 있다. 우리나라의 경우는 저층 건축물은 벽돌을 이용한 조적조 건축물이 상당수 분포되어 있고, 중층 규모로는 철근콘크리트 건축물이 다수 분포되어 있다. 서울시에 지진이 발생한 경우를 가정하여 강남구 일부지역을 대상으로 한 가상피해 시나리오^{*1)}를 보면 모멘트저항 프레임구조의 경미한 손상확률은 20~50%, 부분파손은 20%이내인 것으로 나타내고 있다. 이 피해 대상 중에 대부분은 철근콘크리트 구조물이라 판단됨으로 지진이 발생한 후 철근콘크리트 구조물의 피해 정도는 무손상, 경미손상, 부분파손 등 다양한 피해양상이 나타난다고 할 수 있다.

철골건축물에 비해 지진피해를 입을 가능성이 높은 철근콘크리트 건축물은 균열이나 부분파손에 따라 여진에 대한 대응력의 상

실정도가 다르며 추가적 손상 또는 붕괴로 이어질 수 있는 가능성이 내재되어 있어 지진 후의 그 손상정도에 대한 평가가 중요하게 여겨지며 손상평가에 있어서도 구조체의 특성과 형식에 따라 다양한 평가 기준이 마련되어져야 한다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 이상의 철근콘크리트 건축물에 대한 지진후 신속평가의 필요성에 의해 일정교육을 이수한 비전문가가 지진후 철근콘크리트 건축물에 대해 평가 항목 및 평가기준을 설정·제시하고 신속손상평가의 합리적 수행을 위한 제안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.3 신속평가의 국외연구사례

지진에 대한 연구는 수세기 동안 이루어져 왔으나 지진이 발생한 후에 구조물의 손상도를 평가하고 대책을 수립하고자 하는 연구는 극히 근래에 이루어지기 시작했다. 그 이유는 현대사회에서처럼 대도시 밀집형의 거주형태가 예전에는 존재치 않았으며, 대도시화로 인해 고층건축물의 출현이 이러한 지진후 손상평가의 필요성을 만들어냈기 때문이다. 지진다발 지역에 속하는 일본의 경우는 일본건축방재협회가 1970년대 이후 [진재건축물 등의 피해도 판정기준 및 복구기술지침]이라는 보고서를 발표하여 지진후 손상평가를 위한 기준을 제시하였다. 미국은 1980년대부터 이러한 지진후 손상평가를 위한 기준을 만들기 위해 노력해 왔으며 California Governor's Office of Emergency Service(OES), California Office of Statewide Health Planning and Development(OSHPD) 와 Federal

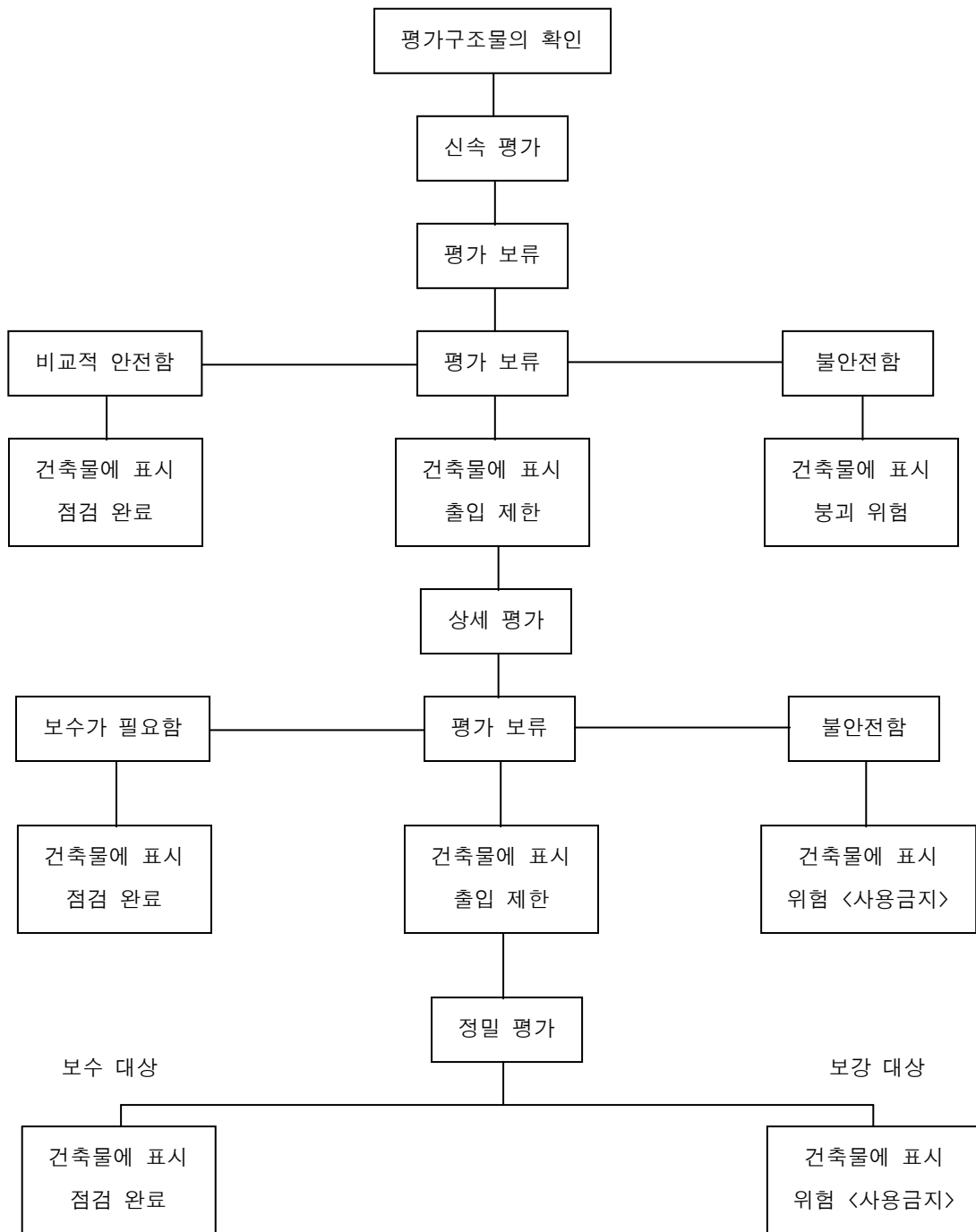
Emergency Management Agency (FEMA) 등의 주요 기구들을 통한 연구를 통해 1989년에 "ATC(Applied Technology Council)-20"이라는 보고서를 작성하여 발표하였다. ATC-20은 교육프로그램, 현장메뉴얼, 평가방법에 대한 이론서 등으로 구성되어 있는 종합적 보고서의 성격을 가지고 있다.

1.4 신속평가의 개요

일반적인 건축물의 지진후 손상평가 과정은 그림1.1과 같다. 이 그림에서 알 수 있듯이 신속평가 (Rapid Evaluation)는 지진 발생후에 가장 먼저 실시 되는 평가이며, 이후에 진행되는 상세평가 (Detailed Evaluation)나 전문가평가 (Engineering Evaluation)의 기본이 된다.

일반적으로 신속평가는 1개 건물에 대해 10-20분 내외, 상세평가는 1-4시간, 전문가평가는 1-7일 이상이 소요된다. 각 평가의 목표를 개략적으로 나타내면 표1.1과 같다. 이러한 평가목표를 만족하기 위해서는 평가기준이 필요하며, 이 평가기준은 전문가가 아닌 일반인이라도 약간의 교육으로 충분히 이해할 수 있어야만 하며 이 평가는 육안관찰을 기본으로 하며 건축구조에 대한 지식을 요구하지 않고 단순히 건축물에 나타난 현상만을 직관적으로 판단하여 평가결과를 도출하여야 한다.

신속평가의 평가결과는 ① 비교적 안전함 ② 평가보류 ③ 붕괴위험의 3종류로 나타나게 되며 이 평가 결과에 따라 현장에서 건축물에 평가를 표시하는 표식을 설치하여야 한다.



〈그림 1.1〉 지진후 손상평가절차

〈표 1.1〉 진재건축물의 평가절차

평가분류	평가원의 요건	목 표
신속평가	♥ 일반조사원 ♥ 구조엔지니어 ♥ 건축가	신속한 안전성판단: 안전과 붕괴의 신속한 판단 후 건축물에 표식부착
상세평가	♥ 구조엔지니어	정밀육안점검: 손상된 건축물에 대해 정밀평가의 필요성 여부 판단, 보수로 안전성 확보가 필요한 건축물 선별
정밀평가	♥ 특급기술자	정밀구조안전진단: 손상도 평가에 따른 보강방안, 신축공사비, 철거대책 등의 마련

2. 철근콘크리트 건축물의 구조형식 및 특징

2.1 구조형식

국내의 내진설계기준에서 구조체가 지진에 대응하는 저항형식에 따라 건축물을 분류하고 있으며 이 중 철근콘크리트 건축물에 해당되는 주요한 방식은 모멘트 골조방식, 내력벽방식이 있다.

모멘트 골조 방식은 중저층규모의 건축물에서 보편적으로 사용되어 지는 기둥과 보로 이루어지는 구조방식이고 내력벽방식은 주로 벽식구조로 통칭되는 형식으로 근년에 지어지는 아파트 건축물들이 갖는 구조방식이며 이들 두 형식이 철근콘크리트 건축물의 지진저항시스템으로 일반적인 형식이다. 고층건축물에서는 이중골조방식이나 건축물 골조방식이 적용되어지지만 건축물의 수는 그다지 많지 않으며 서울시의 경우에도 대개의 고층 건축물은 철골조로 지어지고 있다. 또한 이 분류에도 언급되어있지 않을 뿐 아니라 국외에서도 그 시공사례를 찾기 힘든 우리나라만의 독특한 복합구조방식의

로 하부골조 상부벽식인 구조형식이 주상복합건축물에 적용되고 있으며, 최근 그 시공 사례가 증가하고 있다. 이러한 구조형식은 골조와 전단벽이 상하로 분포하여 건축물의 수직방향의 강성불균형이 초래되는 구조형식은 지진에 취약한 연약층 구조가 됨으로 지진에 대한 위험성이 높다고 할 수 있어 지진후 이들에 대한 손상평가에 주의 하여야 한다.

서울시에 시공되어 있는 건축물의 동수를 고려한다면 지진후 손상평가의 대상은 모멘트 골조방식, 내력벽방식 및 복합구조방식이 주요대상이 되는 구조형식이라 할 수 있을 것이며 이외의 방식들은 특수구조 형식이며 규모면에서도 대규모이므로 특별한 관리와 평가가 필요한 대상이라 할 수 있다. 따라서 다음 절에서는 위의 세가지 구조방식의 특성에 대해서 기술하고자 한다.

2.2 주요 구조방식의 특성

2.2.1 모멘트 골조방식

철근콘크리트 건축물에서 주로 사용되는 모멘트골조구조방식으로 아파트 등에 벽식구조가 사용되기 이전에는 거의 유일한 구조 시스템이었다. 모멘트골조방식에 해당되는 건축물을 지진에 대한 구조거동에 따라 다음 4종류로 세분화 되어 진다.

- 1) 보강 채움벽을 갖는 비연성 골조
- 2) 비보강 채움벽을 갖는 비연성 골조
- 3) 비보강 채움벽이 없는 비연성 골조
- 4) 연성골조

이 4종류 중 현재 서울지역에 분포되어 있는 철근콘크리트 건축물의 대부분은 2)항에 해당되어지며, 무량판구조, 와플슬래브구조 및 보-기둥구조가 이에 포함되지만 무량판

과 와플슬래브구조는 수적인 면에서 극히 소수에 불과하다. 표2.2의 고베지진(1995년도) 피해사례에 볼 수 있듯이 보·기둥구조 시스템은 지진거동에 있어서 연성이 부족하여 기둥부위의 파괴를 유도할 수 있으며, 이로 인해 구조물의 기울어짐이나 층 붕괴가 유도될 수 있어, 지진에 피해를 심하게 입을 수 있는 구조형식이 되며 기둥의 전단 파괴가 해외의 지진사례분석에서 가장 특징적인 파괴 현상으로 나타나고 있다. 또한 지상1 층부에 개방된 공간이 요구되어져 채움벽이 부족한 경우가 많아 일층의 강성이 상부의 강성보다 적게 되어 층 붕괴 현상이 대단히 많이 나타나고 있다.

〈표 2.2〉 고베지진시 파괴된 철근콘크리트 건축물의 파괴형태

파괴의 종류	동 수
1층 붕괴	66
중간층 붕괴	10
전층 붕괴	2
전단파괴	61
휨 파괴	21
불명	30
합 계	190

2.2.2 내력벽 방식

80년대 후반 서울에 시공되어진 아파트 건축물에 주로 적용되어지고 있는 구조방식으로 보와 기둥이 없이 벽체와 슬래브로 외력에 저항하도록 계획된 구조형식이다. 이 구조형식은 모멘트골조방식보다는 지진에 대한 저항력이 높은 것으로 평가되고 있지만 상당히 강한 강성구조형식으로 고층 건축물에서 상하강성의 차가 발생할 경우 연

약층에 에너지가 급격히 집중될 가능성이 있어 상하강성분포에 주의하여야 하며 평면의 형태에서도 탑상이 유리하지만 현재 건축된 많은 건축물들이 길게 늘어선 장방형의 형태로 되어 있다. 이 구조형식에서 나타나는 대표적인 지진피해사례는 다음과 같다.

- 1) 개구부 주변의 균열 또는 변형
- 2) 시공이음 부분에서의 전단파괴
- 3) 철근이음길이 부분에 의한 휨파괴

2.2.3 복합구조방식

서울시와 같은 대도시지역에서 택지의 부족과 법적인 규제에 의해 하부에 상가와 같은 개방공간이 필요하거나 주차장 공간을 확보하기 위해 보·기둥 골조방식을 채택하고 상부에는 주거용 공간을 설치하기 위해 내력벽 방식을 채택하는 우리나라만의 독특한 구조형태가 최근에 다수 시공·분양되고 있다. 이 구조형태가 국내에서 개발된 구조형식으로 해외에서의 지진의 응답특성, 지진피해사례등에 관한 연구가 전무한 상태임은 물론이고 국내에서도 이 형식이 현실적 필요에 의해 급작스럽게 등장하였기 때문에 이에 대한 구체적 연구사례는 극히 미약한 형편이다.

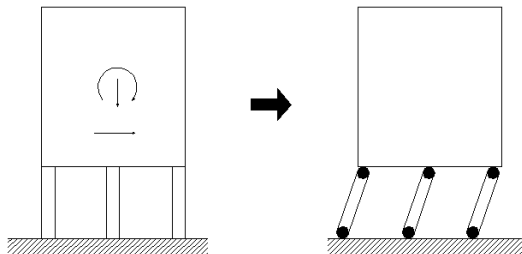
이 구조물의 지진응답특성은 건축물 상하강성의 불균형에 의해 연성층인 하부골조부위에 지진에너지가 집중될 것으로 예상되지만 지진응답해석 방법은 상하구조체 전체를 일체화하여 설계하지 못하고 상부시스템과 하부시스템을 분리하여 각각 설계하는 방식을 취하고 있으며 이 해석방식은 복합구조형식의 지진응답 특성인 에너지 집중현상을 적절히 평가할 수 없다. 그러나, 이 구조형식에 대한 지진응답특성을 파악하기 위한

연구결과는 극히 미미하여 지진시에 어떠한 파괴현상을 나타낼 것인지에 대해서는 좀 더 구체적 검토가 필요하다. 이 구조방식의 지진응답거동과 피해특성을 파악하기 위해 행한 실험적 연구 결과를 정리하여 지진피해의 특징을 예측한다.

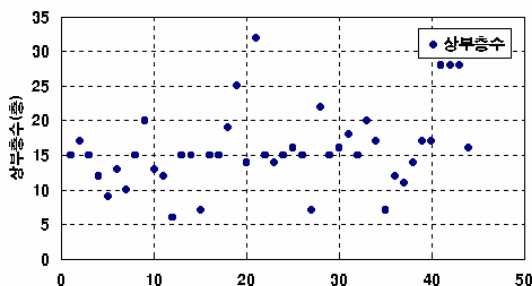
3. 복합구조형식의 지진응답특성*2)

3.1 복합구조형식의 구조특성

복합구조형식의 지진시 개념적 응답형태는 그림 3.1과 같을 것이며, 상·하부의 강성차에 따라 하부에 집중되는 에너지량은 달라지며 상부골조가 9개층 이상일 경우 에너지 집중현상이 크게 나타낼 수 있다.*5) 현재 국내에 시공되거나, 계획중인 복합구조물의 상부층의 층수는 그림 3.2와 같다.



<그림 3.1> 복합구조형식의 지진응답거동 개념



<그림 3.2> 전이보 상부의 층수

위의 그림으로부터 복합구조형식에서 상부층수는 10개층 이상인 경우가 대부분이고 전이보의 길이는 1.5m에서 3m사이에 80% 이상이 분포하는 것을 알 수 있다. 즉, 복합구조형식은 구조적으로 하부에 연약층이 형성될 가능성이 높으며, 전이보의 거동도 일반적인 보가 휨거동을 하는데 비하여 전단거동을 할 것으로 판단된다.

3.2 복합구조형식의 모의진동실험

복합구조형식을 갖는 철근콘크리트 건축물의 지진응답특성을 파악하기 위해서는 이론해석적인 방법으로는 상·하부의 구조모델이 달라서, 현재 사용되고 구조해석용 프로그램으로 적정한 실제 지진파를 입력하여 비탄성영역까지의 동적해석을 수행하기는 어려운 실정이다.

이는 비탄성영역까지 적용되는 구조해석 프로그램들이 전부 외국에서 개발되었기 때문에 국내에서 독특하게 적용되어지는 상부전단벽+하부골조방식의 구조 모델에 대한 계산 도구를 갖고 있지 않기 때문이다. 그러므로, 이러한 복합구조형식을 갖는 건축물의 지진응답특성을 파악하기 위해서 이론해석에 앞서 모의 진동대를 이용한 모의 지진실험이 이루어져야만 한다.

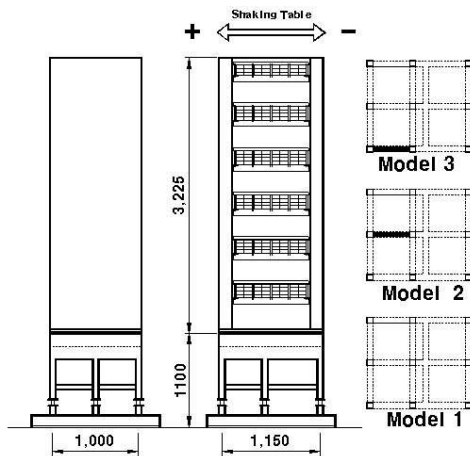
3.2.1 모의 지진 실험체

국내 현황을 분석하여 표준적인 복합구조형식의 건축물은 표3.1과 같이 가정되어진다. 이 기본형을 근거로 하여 실물의 1/12인 상사 실험체를 계획하여 상부의 전단벽식 부분은 모델제작과 실험의 편의를 위해 실물과 동일한 강성과 크기를 갖는 콘크리

트 덩어리로 제작되고 하부의 보-기둥골조 부분은 축소율에 따라 축소 제작한다.

〈표 3.1〉 선정실물 복합건물의 구조개요

내 용		내 용	
설계기준	콘크리트구조설계기준·해설 건축물 하중기준 및 해설	콘크리트	$f_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$
위 치	서울특별시	철 근	D25-SD40 ($f_y=4000\text{kgf/cm}^2$)
용 도	주상복합건물		D13-SD40 ($f_y=4000\text{kgf/cm}^2$)
구조방식	철근콘크리트	지반조건	$F_e=100\text{tf/m}^2$



〈그림 3.3〉 복합건물모형의 평면 및 입면도

3.2.2 실험방법

1) 진동대 시스템

미국 MTS사가 제작한 8개 가력기로 6자유도 운동을 구현하는 Analog Control System을 사용하는 한국기계연구원의 진동대 시스템을 사용하였다.

2) Reference Frame

변위측정을 위한 Reference Frame를 진동대외부에 설치하여 각층의 변위를 측정하고 진동대의 변위를 제외시켜서 각층의 상태 변위를 산정하였다.

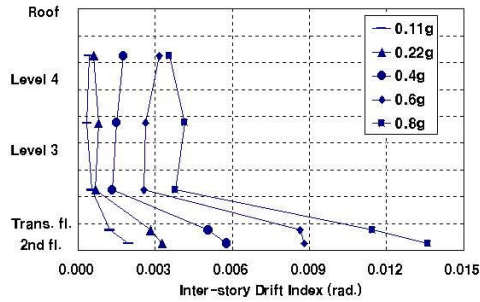
3) 계측기기

데이터 취득시스템은 미국 straw berry사의 Data Shuttle Express를 사용하였고 이 기기는 1개의 보드에서 16채널의 데이터 취득 가능함으로 총 3개 보드를 직렬 연결하여 48채널로 데이터를 취득하였다. 증폭 기기는 TML사의 SDA 830C 동적데이터 취득장비를 사용하였다. 설치된 변위측정기, 가속도계, 로드셀로부터 각층변위, 국부변형, 가속도 및 1층 기둥에서의 축력, 전단력을 측정하였다.

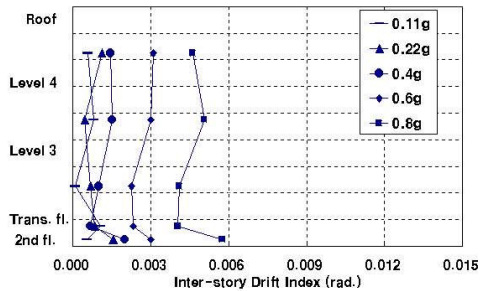
3.2.3 실험결과

실험을 통해 실험체 전체 변위에 대해 연성층(골조)부분의 변형이 차지하는 비율은 모델 1의 경우 45% 하부에 전단벽이 있는 모델 2는 20% 그리고 전단벽이 편심배치된 모델3에서는 최대 57%, 최소 13%로 나타나고 있다. 각층의 층간 변위를 가력 지진의 크기 별로 정리하여 그림3.4에 표시하였다.

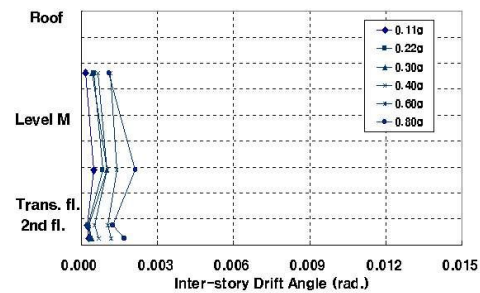
실험체에 발생한 균열은 하부골조의 기둥 부위에 주로 집중되어 발생하였다. 모델1에서는 전도모멘트에 의한 인장과 휨 항복에 의해 2층 기둥상부에 수평균열이 발생하였고, 모델2는 1층과 2층 기둥, 특히 전단벽이 설치되어 있지 않은 외부기둥에서 집중적으로 발생되었고 모델3에서는 전이층 접합부와 2층 중앙기둥에서 비틀림 작용에 의해 경사균열이 발견되었다.



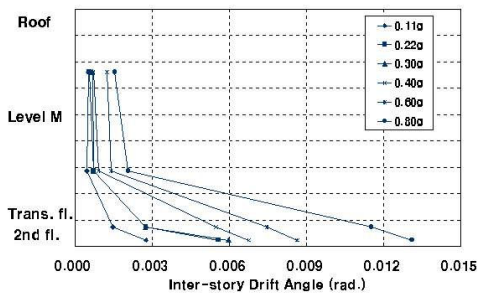
(a) 모델1



(b) 모델2



(c) 모델3의 Stiff Edge



(d) 모델3의 Flexible Edge

<그림 3.4> 층간변위를

3.3 복합구조형식 건축물의 동적거동특성

복합구조형식의 건축물에서 변형을 강성이 작은 하부골조에 집중되어지며, 특히 건축물이 고층화 될수록 이러한 에너지 집중 현상은 증가될 것으로 판단되어진다. 또한 하부골조에 일부 전단벽을 설치하는 경우, 이들 전단벽이 평면내에서 균형있게 배치되지 않는다면 하부골조에 비틀림 현상을 유도할 수 있어 구조체의 지진저항능력을 저하시킬 위험성이 있다.

일반적인 건축물의 설계에서 보를 약하게 설계하여 보에서 소성힌지가 발생하도록 하고 있지만 복합구조의 하부골조에서는 보 보다는 기둥에서 힌지가 발생하여 변형이 증대됨으로 건축물 전체의 전도위험성이 기타 건축물에서 높다. 즉, 일반 건축물에서는 P- Δ 효과를 설계시 크게 고려하고 있지 않지만 하부에 연성층이 있는 경우에는 P- Δ 효과가 건축물의 안정성한계를 결정하는 주요요인이 될 수 있음이 강 · 연성복합구조에서의 잔류변형에 관한 수평 연구를 통해 입증되었듯이 복합구조형식에서는 건축물의 수평 변위가 손상평가의 기본적 요건이 될 수 있다.

상부내력벽에 입력되는 지진에너지는 일반건축물에 비하여 감소됨으로 지진피해를 입을 가능성은 낮아진다.

4. 신속평가방법 및 평가기준

4.1 일반사항

신속평가의 평가결과는 안전, 사용제한,

붕괴가능의 3종류로 나누어진다. “안전”의 상태는 외관상으로 손상의 징후가 없거나 경미하며 약간의 보수로 원상태로의 복원이 가능한 경우가 되며 계속적인 사용이 가능한 상태를 의미한다. “사용제한”의 상태는 구조체에 손상이 발생하여 구조체의 횡저항능력이 저하된 상태로 여진에 추가적 손상이 발생할 가능성이 있는 경우로 외부의 출입을 금하고 인명구조나 중요한 물건들을 반출하기 위해 일부 인원만이 출입하도록 조치하는 상황이다. “붕괴가능”의 상태는 구조체의 손상정도가 심각하여 언제든 건축물이 붕괴될 수 있는 상태로써, 건축물에 대한 출입을 완전히 봉쇄하고 그 주변에 대해서도 일반인들의 보행을 통제하여야 하는 상태를 의미한다.

신속평가를 진행하기 위해서 우선 각 건축물에 대한 일반사항을 파악 정리하여 준비된 평가표가 있어야 하며, 평가표에 기재되어야 하는 일반사항은 다음과 같다. 건축물의 ① 건축물의 명칭, ② 건축물의 위치 ③ 규모(지상층수 및 지하층수, 연면적) ④ 건축물의 시공연대 ⑤ 건축물의 사용용도 ⑥ 건축물의 구조형식 ⑦ 신속평가자 ⑧ 신속평가 실시

4.2 철근콘크리트 구조물의 평가방법

4.2.1 평가항목

1) 층붕괴

건축물의 일부층이 붕괴되어 있거나, 하부층 일부 기둥이 붕괴되어 건축물이 일정방향으로 기울어져 있는 경우와 중간층이 외부로 불거져 나와 있는 경우 등은 붕괴된 것으로 간주되어야 한다.

2) 기울기

기울어짐에 따라 구조물의 상태를 평가하는 기준은 표4.1과 같으나 신속평가시에는

〈표 4.1〉 구조물의 수평·수직 변경 기울기에 따른 평가 등급 및 안전조치 <Bjerrum.L.1963>

등급 부호	기울기	내용
A	1/750이내	예민한 기계기초의 침하위험 한계
B	1/600이내	대각선 구조를 갖는 라멘구조의 위험 한계
C	1/500이내	구조물의 균열발생 한계
D	1/250이내	구조물의 경사도 감지
E	1/150이내	구조물이 위험할 정도

측량을 행할 수 없으므로 육안관찰로 구조물의 기울어짐이 의심되는 경우에는 1/250의 기울기를 초과하는 것으로 볼 수 있으므로 사용제한 조치를 취하고 구조물이 확연하게 기울어진 것으로 판단되는 경우에는 P-Δ효과에 의해 구조물의 횡력저항력이 상당부분손실된 상태이므로 붕괴가능성이 있는 것으로 판정하여야 한다.

복합구조형식 건축물에서는 기울어짐이 느껴지면 붕괴가능성이 있는 것으로 판정하여야 한다.

3) 균열

평가자는 건축물에 발생된 균열의 크기, 방향등과 균열이 발생된 부위 등에 대해서 면밀히 관찰하여야 한다.

건축물의 성능평가에서는 구조체의 성능에 손상을 줄 수 있는 균열은 0.3mm 이상으로 보고 있으나 신속평가에서는 정밀하게 구조체를 조사할 수 없고 지진에 의해 손상을 입을 경우에 발생하는 균열의 크기는 비교적 큰 것으로 나타나기 때문에 육안에 떠는 균열들만으로 그 손상 정도를 평가하여도 무방하리라 본다. 특히 기둥에 발생하는 균열이 주요 평가 대상이 되며 1층부 기둥

의 중요한 검사 대상이 된다. 발코니 부분 등의 돌출부위와 주요구조체 사이의 연결부분에 균열이 발견되면 주변 통행을 통제하여야 한다.

모멘트 골조 방식에서는 기둥에 발생한 균열의 조사를 행하고 1층부 기둥의 상·하부에 철근이 노출될 정도의 균열이 발견되면 붕괴수준으로 판정하여야 하며 중간층에서 X자형의 전단균열이 다수 발생하였을 경우도 붕괴수준으로 판정한다. 기둥에 약간의 미세균열이 있고 보단부에 큰 전단균열이 없으면 안전한 상태로 판정할 수 있다. 내부 채움벽체인 비보강 조적벽체의 균열은 구조체의 성능에는 영향이 없으므로 평가할 필요가 없다.

내력벽 방식은 건축물 전체의 비틀림 현상이 있는 경우와 벽체의 이음부에 수직균열이 발생되어 있을 경우, 그리고 벽체에 수평균열이 발생되어 있고 그 벽체에 배부름 현상이 발견되면 붕괴 가능성이 있는 것으로 판정하고 벽체 전반에 전단균열이 있더라도 외부로 철근이 노출되지 않은 경우는 안전한 것으로 볼 수 있으나 균열이 하부 벽체에 집중된 경우는 상세평가의 필요성이 있는 것으로 판정한다.

복합구조형식의 건축물은 하부골조의 기둥에 수평균열이 발견되거나, 기둥의 상하부에 철근이 노출된 경우 기둥에 전단균열이 발생되어 있는 경우에는 붕괴가능성이 있는 것으로 판정하며, 상하기둥에 이상이 없더라도 전이보에 전단균열이 발생되어 있으면 붕괴가능성이 있는 것으로 판정되어야 한다.

하부골조에 큰 균열이 없고 기울어짐이 없다면 상부구조에 손상이 있더라도 구조체는 건전한 것으로 볼 수 있다.

4) 지반

건축물 주위에서 액상화 현상이나, 지반의 침하, 갈라짐 현상이 발견된 상태에서 건축물에 손상이 발견되면 붕괴가능성이 있는 것으로 판정하여야 하며, 손상이 거의 없는 경우에는 사용제한 조치를 취하는 것이 바람직하다.

4.3 평가기준

철근콘크리트 건축물의 구조형식별 신속평가기준을 정리하여 나타내면 표4.2가 된다. 표중 S는 안전한 상태, I는 상세평가의 필요, F는 붕괴가능성을 의미한다.

위 표에서 제시한 평가기준 이외에 다른 손상요인이 있을 수 있으나 붕괴가능성 여부의 판정에는 큰 영향을 미치지 않으리라 보여지며 붕괴가능성이 있는 것으로 판정된 건축물 이외에는 약간의 손상이 있는 경우는 안전한 것으로 판정하고 안전하다는 확신이 없는 경우에는 상세평가를 실시하도록 한다.

28 권기혁 · 노희일

〈표 4.2〉 구조형식별 신속 평가 기준

손상상태	모멘트 골조	내력벽식	복합구조	비 고
층붕괴	F	F	F	
일부기둥붕괴 혹은 하부벽체붕괴	F	F	F	
층간층의 외부돌출	F	F	F	
확연한 기울어짐	F	F	F	
기울어진 느낌	I	I	F	
하부기둥의 철근노출	F	·	F	
중간층 기둥의 전단균열다수 발생	F	·	·	
외부 돌출구조 부위의 연결부 균열	I	I	I	추락위험성이 있으므로 통행제한
기둥의 미세균열	S	·	I	
하부 벽체의 철근노출	·	F	·	
하부 벽체의 배부름 현상	·	I	·	
상부 벽체의 일부 전단균열	·	I	S	
전이보의 전단균열	·	·	F	
지반손상이 있는 경우 · 구조체에 손상 징후 없음 · 구조체에 손상 징후 있음	S I	S I	S I	

5. 결론

지진이 발생한 후 피해·복구 및 여진에 의한 추가인명 피해를 방지하기 위해서는 건축물의 지진피해에 대한 신속평가는 우선적이고 필수적 대응 행위라 할 수 있고, 이 평가의 합리성과 정확성은 추후의 지진대응 전략 수립의 효율성을 결정하는데 있어서 기본요소가 된다.

본 연구를 통해 현재 서울시에 시공된 건축물 중 상당수를 차지하고 있고 지진피해를 입을 가능성이 높은 철근콘크리트 구조물에 대한 지진후 신속평가에 대해 다음과 같은 사항을 정리할 수 있었다.

1. 철근콘크리트 건축물의 구조형식 중 모멘트골조방식, 내력방식 및 복합구조방식의 세가지형식이 신속평가의 대상이 되는 주요 구조 형식이 된다.

2. 신속평가는 육안 관찰만으로 이루어짐으로 구체적 평가보다는 붕괴 가능성 여부의 판정을 기본으로 하여 수행하고, 약간의 손상이 있더라도 건전하다고 판정된 경우만을 안전한 것으로 평가하며 그 이외의 건축물의 판정은 상세평가에 위임하는 것이 바람직하다.

3. 복합구조 방식은 다른 구조형식에 비해 상·하부의 강성분포차에 의해 하부구조에 지진에너지가 집중되는 현상이 있어 지진에 취약하며 신속평가 기준 역시 다른 형식에 비해 강화할 필요가 있다.

4. 철근콘크리트 건축물의 신속평가를 위한 기본항목은 층붕괴여부, 기울어짐, 균열, 지반상태의 4가지로 한정할 수 있으며 각 항목에 따른 판정은 제시된 기준에 따른다.(표 4.2 참조)

신속평가가 원만하게 수행되기 위해서는

신속평가원의 교육과 이 교육을 위한 적절한 프로그램 개발이 우선적으로 수행되어야 한다. 평가를 위한 구체적 항목 및 상태에 대해서는 추후 진행되어지는 교육용 교재의 집필과정에서 일반적 사항의 기술과 함께 이루어져야 된다. 게시물, 출입제한 표시등의 신속평가 게시물은 일반인이 명확히 인식할 수 있도록 개발하기위한 연구들이 계속적으로 진행되어야 한다.

본 연구는 서울시립대학교 2000년 교내연구비의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

<참고문헌>

- 1) 서울시 지진 대응 모델 개발, 서울특별시, 1999
- 2) 복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구, 건설교통부, 2001
- 3) 권기혁외4인, “1/12축소 철근콘크리트 주상복합 건물의 진동대 실험” 대한건축학회 학술발표논문집, 제21권2호
- 4) 권기혁, “지진하중을 받는 강 · 연성혼합 철근콘크리트 건축물의 잔류변형에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표논문집, 제18권2호 1998. pp 51~86
- 5) 서정원, “상 · 하부 강성차를 가지는 철근콘크리트 골조의 안정성 관계에 관한 연구” 서울시립대학교, 석사학위논문, 2001
- 6) ATC, 1989, Procedures for Post earthquake Safety Evaluation of Buildings, ATC-20 Report Applied Technology Council, Redwood City, California.
- 7) ACI, 1995, building Code Requirement for Structural Concrete(ACI 318-95) and Commentary(ACI 318R-95), ACI Committee 318, American Concrete

- Institute, Farmington Hills, Michigan.
- 8) ATC, 1993, Seismic Resistance of Reinforced Concrete Shear Walls and Frame Joints : Implications of Research for Design Engineering, ATC-11 Report, applied Technology Council, Redwood City, California
- 9) ATC, 1996a, Guidelines for the seismic Rehabilitation of Building, Volume I , Guideline, and Volume II, Commentary, FEMA 273/274-Ballot Version. Prepared by the Applied Technology Council for the Building Seismic Safety Council; published by the Federal Emergency Management Agency.
- 10) Charney, F. A., 1991, “Correlation of the Analytical and Experimental Inelastic Response of a 1/5-Scale Seven-story Reinforced Concrete Frame-Wall Structure” Earthquake Resistant Concrete Structures: Inelastic Response and Design, ACI Special Publication127, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- 11) EERI, 1994, Expected Seismic Performance of buildings, Publication SP-10, Ad Hoc Committee on Seismic Performance, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.