건축구조해석기반 지진재해관리정보체계 구축

Construction of Earthquake Disaster Management System Based on Architectural Structure Analysis

김성삼[1], 조은래[2], 윤정배[3], 유환희[4]
Kim, Seong Sam, Cho, Eun Rae, Yoon, Jung Bae, Yoo, Hwan Hee

1) 경상대학교 대학원 도시공학과 박사과정, E-mail : sskim@gnu.ac.kr
2) 경상대학교 대학원 도시공학과 석사과정(BK21), E-mail : cerp1@hanmail.net
3) 경상대학교 건설공학부 건축공학전공 교수, E-mail : jbyoon@gnu.ac.kr
4) 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수, E-mail : hhyoo@gnu.ac.kr

요 약

자연재해 중 시설 파괴 규모나 인위적 경제적 피해정도에 있어서 지진은 직접적인 피해가 엄청난 재난이다. 특히 현대사회의 산업화로 도시는 인구가 집중되고 시설물이 대형화되면서 그 기능이 복잡다양해지고 있어 지진이 발생할 경우 도시의 사회·경제활동이 장기간 마비되는 사태가 발생하기도 한다. 본 논문에서는 건축물 구조해석에 의한 내진평가체계를 수립하고 내진평가에 필요한 다양한 자료들을 GIS DB화하여 건물의 내진성능평가를 수행함으로써, 개별 건물의 지진위험등급 산정과 GIS기반으로 지진위험도를 체계적으로 평가할 수 있는 정보체계를 구축하여 지진발생시 피해규모 및 범위를 추정할 수 있는 정보체계구축의 가능성을 제시하였다.

1. 서론

지구온난화와 기상이변으로 전 세계적으로 예측하기 힘든 규모의 자연재해가 발생하여 엄청난 인명과 재산피해를 겪고 있다. 특히, 도시화가 급진전되고 있는 현대사회에서는 인구와 시설물이 도시에 집중되면서 지진과 같은 자연재난의 발생으로 인한 사회경제적인 피해가 해마다 급증하는 추세이다. 이렇게 점점 더 복잡·다양해지고 대형화되는 재난에 효과적으로 대처하기 위해 방재선진국에서는 통합적이고 효율적인 재난관리체계를 구축하고, 최첨단의 재해 관측기술을 개발·활용하고 있다.

화산활동과 지각변동으로 인해 지진재난 피해가 많은 일본에 비해 한반도는 지질학적으로 안전한 지역으로 인식되어 왔지만 최근 발생하고 있는 지진의 발생 주기나 강도를 감안할 때, 더 이상 우리나라도 지진으로부터의 위험을 간과할 수 없는 상황에 이르고 있다. 특히 한반도 동남부 영남권에는 역사적으로 최근에 이르기까지 잦은 지진활동이 관측되고 있으며, 인구, 산업적으로 매우 중요한 지역에 지진활동지역이 가까이 있으므로 지진재해에 대한 본격적인 대책이 부각되고 있다. 이런 인식에 따라 1988년부터는 건축물에 내진설계기법이 도입되었고, 1992년부터는 도로교 표준시방서를 개정하여 교량도 내진설계를 하도록 규정하였다. 아울러, 지역적 특성을 고려한 지

진피해 규모를 추정하고 지진 재해시설물 현황과 지진 피해저감 기술을 조사, 분석하고 지역적 특성을 감안한 기술을 개발하여 지역의 지반 특성에 맞는 신기술의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 건축물 대장과 건축도면, 수치지형도 등을 활용하여 건물의 구조, 주요 구조부재 등 지진내진평가 항목별로 자료를 수집·정리한 후 현장조사를 통해 자료를 보완하였으며, 이들 자료를 공간정보와 속성정보로 연계하여 GIS 데이터베이스로 구축하였다. 여기에 시설물관리공단 및 한국지진공학회, 국립방재연구소의 기존 연구결과를 토대로 내진평가체계를 수립하고 대상건물의 구조적 내진성능평가를 실시하여 내진성능 평가지수를 토대로 각 건물의 지진위험등급을 산정함으로써 GIS기반의 지진위험도 평가체계를 구축하고자 하였다.

2. 지진재해와 내진설계

2.1 지진재해와 내진설계

1995년 일본 고베(Kobe)지진, 1999년 터키 지진, 대만, 멕시코 지진, 2000년 대만 지진, 2001년 인도 지진 등의 강진(severe earthquake)은 수많은 인명의 손실과 함께 막대한 경제적 손실을 가져왔다. 이들 지진 발생지역에서의 피해현황을 살펴보면 내진설계가 충분히 이루어진 구조물에 대해서는 그 피해정도가 상대적으로 작음을 알 수 있으며, 이는 지진발생 가능지역에서의 구조물에 대한 내진설계의 중요성을 단편적으로 나타내는 예라고 할 수 있다. 우리나라의 경우에도 1936년 쌍계사 지진, 1978년 홍성지진, 1982년 사리원 지진, 1996년 경주, 영월 지진 등 진도 4.0 이상의 크고 작은 지진들이 끊임없이 발생하였고, 최근 기상청 자료에 따르면 2000년 29회, 2001년 43회의 지진이 발생한 것으로 보고되어 지진발생 횟수와 지진발생 가능성의 증가로 인하여 구조물의 내진설계에 대한 사회적 관심이 대두되고 있는 실정이다.

2.2 국내외 내진설계 관련법규

특정 구조물의 재해위험도를 고려한 내진설계법은 ATC 3-06에서 대상 구조물의 지진노출위험도를 사용하게 된 것이 시초이다. 이후 San Fernado Valley(1971)과 Northridge 지진(1994)을 거치면서 그 개념이 크게 달라지어 성능에 기초한 내진설계법(PBSD)이 도입되기에 이르렀다. 한편, 1985년의 NHERP 기준을 시초로 1997년도의 FEMA 273, 274 에 이르는 내진기준과 UBC 94, 97과 통합규준으로 IBC 2000 기준으로 발전하게 되었다.

우리나라는 1988년에 건축법규에 내진설계에 대한 규정이 제한적으로 제시되었다. 그 후 1998년에 성능에 기초한 내진설계 상위기준에 관한 규정이 마련되었으며, 2005년도에 3층 이상 건물 내진설계 의무화하고, 내진설계를 해야 하는 건축물은 다세대주택과 다가구 주택, 근린생활시설 등이 대부분 포함되도록 개정한 KBC 2005 규정이 마련되기에 이르렀다. 한편, 도로교설계기준의 내진설계 규정은 1996년과 2000년 두 차례에 걸쳐 개정되었다.

3. 내진성능평가 체계

1988년에 건축법규에 내진설계에 대한 규정이 제한적으로 제시 될 만큼 내진설계에 대한 관심이 부족했던 우리나라는 대부분의 기존 건물들이 내진설계 규준이 지정되기 이전에 설계되고 시공되었으므로, 지진에 취약한 구조물들이 지니고 있는 내진성능 수준에 대한 평가가 시급히 필요하며 이에 대한 지침이 마련되어야 한다. 국외적으로는 미국을 중심으로 이에 대한 연구(NEHRP Guideline)가 활발하며, 대규모 투자를 통하여 CASE STUDY(1998~2000)를 실시한 바 있다. 국내에서는 시설물관리공단, 한국지진공학회와 국립방재연구소의 연

구를 기초로 건축물 및 건축물 부재에 지진 발생시 생길 수 있는 피해정도와 관련해서 기존건축물의 내진성능평가를 지침서를 발간하였다. 본 연구에서는 시설물관리공단 및 한국지진공학회, 국립방재연구소의 기존 연구결과를 토대로 내진성능평가 체계를 수립하였으며, 내진성능평가 및 지진위험도 평가는 공동연구팀인 경상대학교 건축공학과 지진재해 연구팀에서 수행한 조사결과를 이용하였다.

3.1 내진성능평가 절차

3.1.1 1차 내진성능평가 (예비내진성능평가) 평가항목

예비내진성능평가에서는 구조물의 붕괴를 방지하는 수준에서 비교적 간단한 방법으로, 그러나 구조물의 거동은 보다 실제적으로 평가하는데 초점을 두고 평가항목을 설정한다.

3.1.2 2차 내진성능평가 평가항목

2차 내진성능평가에서는 구조물의 내진성능을 붕괴방지 수준으로 설정하고, 지진하중에 대한 구조물의 탄성해석을 근거로 구조물의 거동과 구성부재들의 내력이 설계규준을 어느 정도 만족하는가를 평가하는데 초점을 두고 평가항목을 설정한다.

3.1.3 정밀 내진성능평가 평가항목

비선형해석을 토대로 성능점을 계산하는 것을 주목적으로 삼는다. 대표적인 방법으로 capacity spectrum method를 권장한다. 성능점이 결정되면 구조물의 단계별 부재의 응력 및 변형을 추적하여 예상되는 파괴를 기술하여 내진평가자료를 준비한다.

3.2 내진성능평가

이상과 같이 구조해석에 의한 내진성능평가를 개별 부재에 대하여 실시하고, 종합평가지수를 산정하여 안전성 여부를 판정한다. 판정기준이 되는 위험도 등급은 아래 표 1과 같다.

표 1. 내진위험도 등급

등급부호	종합평가지수	상태	조치
A등급	0.95이상	전반적으로 내진성능이 기준에 만족하는 최상의 상태	일상적인 유지관리
B등급	0.90이상 0.95미만	구조의 강도와 강성에 관한 내진성능은 기준에 만족하나, 상세나 인접성 등이 기준에 미달한 상태	간단한 보완이나 보수에 의해 기능수행성능을 확보하고, 장기적인계획을 수립하여 보수·보강을 실시
C등급	0.85이상 0.90미만	구조의 강도나 강성이 부분적으로 기준에 미달하여 보수·보강이 필요한 상태	일반적인 내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	0.80이상 0.85미만	건축물의 층 단위로 구조의 강도나 강성이 기준에 미달하여 단위층의 전체에 걸쳐 보수·보강이 필요한 상태	정밀한 구조해석과 내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능향상
E등급	0.80미만	건축물의 전반에 걸쳐 내진성능이 기준에 미달하여 전체구조의 성능개량이나, 철거가 필요한 상태	정밀한 구조해석과 경제성분석에 의해 전체구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 필요한 경우에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 개량하여 내진성능향상

4. 내진성능평가를 통한 GIS기반 내진위험도 평가

4.1 자료 수집 및 DB구축

본 연구에서는 주요시설물을 대상으로 내진설계현황을 조사하여 향후 지진의 피해예측과 내진성능 보강대책의 기초자료로 활용하고자 한다. 광범위한 주요시설물을 다 조사할 수는 없지만 일차적으로 중규모도시를 선정하여 주요시설물을 분류하고, 가능한 자료의 범위에서 내진성능평가에 필요한 자료를 수집, 내진위험도 평가체계를 수립하였다.

자료 수집은 경남 M시의 동지역을 대상으로 건물과 공동주택, 공공건물, 근린생활시설을 대상으로 현황조사를 수행하였다. 대상구조물에 대한 현황조사 방법은 내진설계법이 도입된 1988년 이전과 이후를 나누고, 내진설계법의 주요내용이 바뀌거나 크게 보완된 1995년, 2000년 이후의 네 기간으로 나눠 조사하였다. 그림 1은 대상지역의 지적도 현황과 그림 2는 조사건물 현황도를 나타내고 있다.

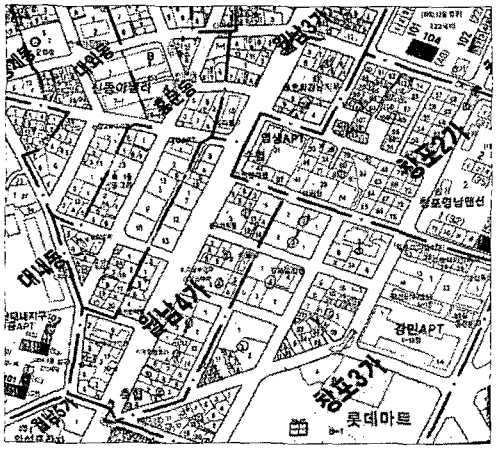


그림 1. 조사 대상지역 지적도

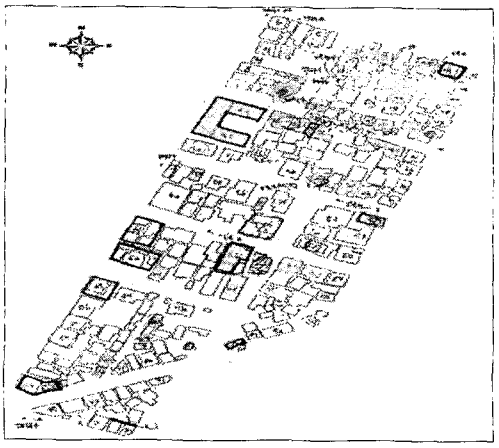


그림 2. 대상지역 조사건물현황도

내진성능을 평가하기 위하여 대상지역내 철근콘트리트 구조물을 대상으로 대표적인 7개 건물을 선정하여 내진성능을 평가하고 건물 내진위험지도를 작성하였다. 대상 건물의 개요는 아래 표 2와 같다. 또한, 내진성능평가에 필요한 대상구조물의 정확한 부재치수를 건축 설계도면자료를 활용하여 조사하였으며, 도면에 표시되지 않은 단면의 치수는 개략적으로 가정하여 사용하였다.

표 2. 철근 콘크리트구조 건물개요

구분	기호	주소	구조	층수		용도	준공연도
				지하	지상		
1	S1	W동 4가 4-x번지	철근콘크리트	1	6	병원	
2	S4	W동 4가 3-x번지	철근콘크리트	2	10	병원/근린생활시설	
3	S13	W동 4가 2-x번지	철근콘크리트	1	3	근린생활/교육시설	1996.03.25
4	S15	W동 4가 8-x번지	철근콘크리트	1	4	근린생활시설/주택	
5	S18	C동 2가 1-x2번지	철근콘크리트	1	4	근린생활/교육시설	1989.12.06
6	S20	C동 3가 x번지	철근콘크리트		4	근린생활시설	
7	S21	C동 3가 5-x번지	철근콘크리트		4	근린생활시설	2004.08.24

표 3. 대상구조물별 부재치수

기호	기둥사이즈	기둥 주근 사이즈	기둥 띠철근 사이즈	기둥 간격	외부 보 사이즈	내부 보 사이즈	슬래브 두께	보 주근 지름	보 띠철근 지름 및 간격
S4	900*800 800*800 1100*800 900*950	D25	D10@200 (단부)	9.8×6.3 8.7×9.8 8.6×6.3 7.5×9.8 6.5×9.8 6.3×9.8	350×700 350×700 350×700 300×600 300×600 300×600	350×700	150	D22 or D19	D10 @100 or D10 @150
S13	400*400 450*450 500*400	D25	D10	7.5×4.7 5.8×4.7 5.0×4.8 5.0×4.7	300×600		135	D19	D10 @200
S18	500*500	D22	D10@300	7.2×4.85	300×600	300×600	135	D19	D10 @300
S20	500*300	D25	D10	5.7×2.1 5.7×1.8	300×500		150	D19	D10 @200
S21	400*300	D25	D10	6.6×3.6	300×500		135	D16	D10 @200

4.2 내진성능평가 수행

내진성능절차는 예비평가단계에서 점차 복잡한 해석적 평가를 수반한다. 3.1에서 언급한 절차를 토대로 구조해석에 의한 내진성능평가를 개별 부재에 대하여 실시하고, 종합평가지수를 산정하여 안전성 여부를 판정하였다. 그림 3은 단계별 내진성능평가 절차를 나타내고 있다.

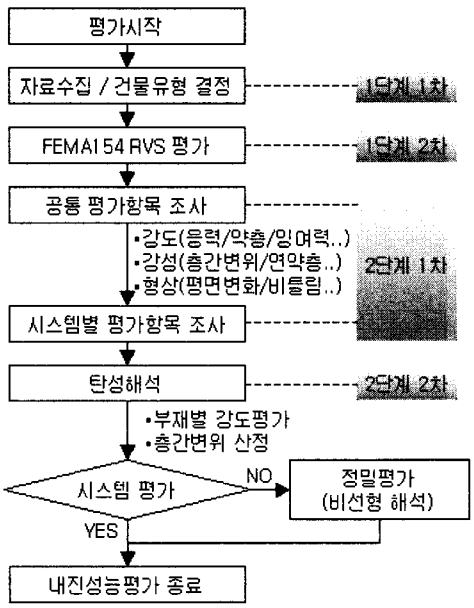
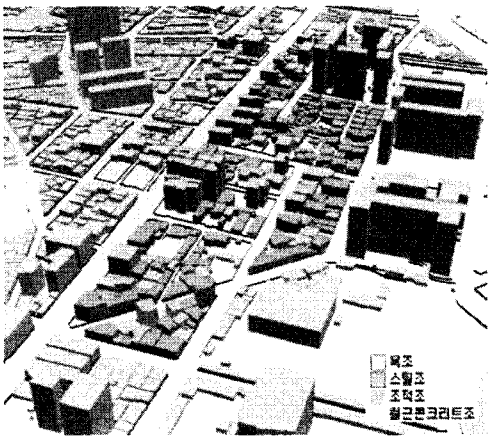


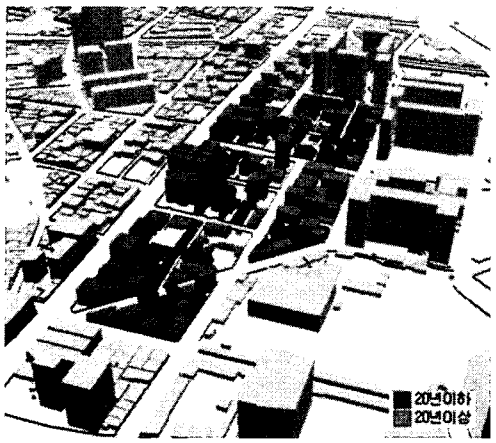
그림 3. 내진성능평가 수행체계

4.3 GIS기반 내진위험도 평가

본 연구에서는 건축물 대장과 건축도면, 수치지형도 등을 활용하여 건물의 구조, 주요 구조부재 등 지진내진평가 항목별로 자료를 수집·정리한 후 현장조사를 통해 자료를 보완하였으며, 이들 자료를 공간정보와 속성정보로 연계하여 GIS 데이터베이스로 구축하였다. 그림 4는 Case study 지역에 대하여 건물 구조 및 층별 현황, 건물 노후도 및 건물용도 현황 등 현장조사 자료를 데이터베이스로 구축한 다음, 3차원으로 표현한 그림을 나타내고 있다.



a) 건물구조현황

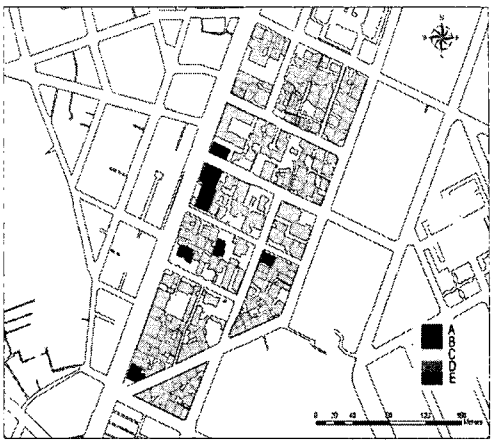


b) 건물노후현황

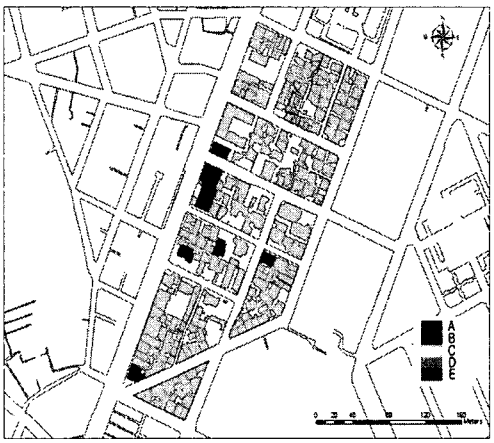
그림 4. 3차원 GIS를 이용한 대상지 현황분석

대상지 현황분석자료와 공동연구팀의 내진성능평가 결과를 토대로 GIS기반의 지진위험도를 제작하였다. 아래 그림에 내진성능평가 단계에 의한 FEMA 154 RVS평가, 내진성능 예비평가 및 상세평가에 따른 위험도 등급을 나타내었다.

a) FEMA154 RVS 평가(1단계 2차) 내진위험도



b) 예비내진성능 평가(2단계 1차) 내진위험도 지도



c) 상세내진성능 평가(2단계 2차) 내진위험도 지도

그림 5. 내진성능평가에 의한 지진위험도 평가결과

5. 결론

본 연구에서는 내진성능평가를 위하여 건축물 대장과 건축도면, 수치지형도 등을 활용하여 건물의 구조, 주요 구조부재 등 지진내진평가 항목별로 자료를 수집·정리한 후 현장조사를 통해 자료를 보완하였으며, 이들 자료를 공간정보와 속성정보로 연계하여 GIS 데이터베이스로 구축하였다. 또한, 시설물관리공단 및 한국지진공학회, 국립방재연구소의 기존 연구결과를 토대로 구조해석에 의한 내진성능평가를 개별 부

재에 대하여 실시하고, 종합평가지수와 대상건물별 지진위험등급을 산정함으로써 GIS기반의 지진위험도 평가체계를 구축하였다.

참고문헌

1. 구조물의 지진해석(1999), 한국지진공학회.
2. 김성삼, 박기연, 유환희(2005), 자연재해 저감형 도시재해관리체계 구축, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp.215-220.
3. 박철용(2002), 기존 RC 건축물의 내진성능 평가방법, 건설기술쌍용 가을호(v.24), pp 46-53.
4. 유환희, 김성삼, 박기연, 최우석(2005), 지형공간정보체계에 의한 도시지역 재해위험도 평가, 한국지형공간정보학회 논문집, Vol. 13, No. 3, pp.41-52.
5. 지진에 대한 지역 위험도 분석 연구(2002), 행정자치부 국립방재연구소, 2002.
6. Guide to application of the NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) recommended provisions in earthquake-resistant design(1987), BSSC.
7. Performance based seismic design of buildings an action plan for future studies(1996), Federal Emergency Management Agency.