

GIS를 이용한 고유주기에 따른 지진응답계수 분석

Analysis of Seismic Response Coefficient by Fundamental Period using Geographic Information System

서 은 수*

Eun Su Seo

최 세 휴**

Se Hyu Choi

요 약 지진하중을 받는 건축물의 반응은 고유주기에 따라 다르게 나타난다. 국내 건축구조기준에서는 고유주기에 따른 지진응답계수를 규정함으로써 건축물의 내진설계를 하도록 하고 있다. 최근 많은 연구자들에 의하여 건축물의 고유주기, 지진응답계수에 대한 많은 연구가 이루어졌으나, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 내진설계에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 입체적인 3차원 공간에서 고유주기에 따른 지진응답계수를 비교 및 검토함으로써 구조물의 내진성능에 대한 분석을 효율적으로 평가할 수 있으며, 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 합리적인 내진설계를 할 수 있는 기초 자료로 사용될 것이라고 기대된다.

키워드 : 지진하중, 고유주기, 지진응답계수, 지리정보시스템

Abstract Response of buildings under seismic load is different according to fundamental period. It is provided in Korean Building Code(KBC2009) seismic response coefficient by fundamental period for seismic design of buildings. Recently, many researchers have studied on fundamental period and seismic response coefficient. However, studies on seismic design using Geographic Information System(GIS) are not sufficient. Therefore, this paper has analyzed on seismic response coefficient of buildings using ArcGIS. This paper can be evaluated efficiently for seismic analysis of structures. And this study will be used as basics of a reasonable seismic design using Geographic Information Systems(GIS).

Keywords : Seismic Load, Fundamental Period, Seismic Response Coefficient, Geographic Information System

1. 서 론

최근 쓰촨성, 아이티 등의 강진으로 많은 인명과 재산의 피해가 있었다. 국내에서도 울진과 백령도 해역에서 규모 5.0을 넘는 강진이 발생하였으며, 2009년에는 한반도에 총 60회의 크고 작은 지진이 발생하였다. 이와 같이 우리나라도 더 이상 지진으로부터의 위험을 간과할 수 없는 상황이며, 인구가 밀집하여 거주하고 있는 현대사회의 특성상 지진으로 인한 피해는 해마다 급증하는 추세이다.

지진은 다른 기상현상과는 달리 예측이 불가능함

으로 내진설계를 하여 피해를 최소화하여야 한다. 지진하중을 받는 건축물의 반응은 고유주기에 따라 다르게 나타나기 때문에 국내 건축구조기준에서는 고유주기에 따른 지진응답계수를 규정함으로써 건축물의 내진설계를 하도록 하고 있다[6].

금대하 등은 비균질 구조특성을 갖는 골조구조물에 대한 기본진동주기의 복잡한 정산법 대신 간단한 수 계산법을 제안하였다[3]. 김윤중 등은 지반의 지질공학적 분석을 위하여 다양한 지질공학적 자료들을 GIS를 이용하여 설계된 환경지질정보시스템 내에서 하나의 데이터베이스를 구축하였고, 지질공

† 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원금을 받아 수행된 것임. (No. 2011-0026509). 또한, 본 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 경북대학교 공간정보학과 석사과정, esseo@knu.ac.kr

** 경북대학교 건축토목공학부 부교수, shchoi@knu.ac.kr(교신저자)

표 1. 지반의 분류 및 지반증폭계수(F_a , F_v)

지반분류	지반종류의 호칭	전단파 속도(m/s)	단주기 지반증폭계수(F_a)		1초주기 지반·증폭계수(F_v)	
			지진구역1 ($S=0.22$)	지진구역2 ($S=0.14$)	지진구역1 ($S=0.22$)	지진구역2 ($S=0.14$)
S_A	경암 지반	1,500 초과	0.8	0.8	0.8	0.8
S_B	보통암 지반	760~1,500	1.0	1.0	1.0	1.0
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360~760	1.2	1.16	1.66	1.58
S_D	단단한 토사 지반	180~360	1.52	1.36	2.24	1.96
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	2.26	1.78	3.38	3.12

학적 특성을 3차원으로 분석하였다[5]. 배익주 등은 Stafford Smith의 해석법에 근거하여 단순한 진동 주기 약산식을 제안하였으며, 철근콘크리트구조물과 철골구조물을 해석모델을 이용하여 제안된 식을 비교 검증하였다[7]. 김준경은 중규모의 5개 지진을 적용하여 응답스펙트럼을 분석하였고 이것을 검증하기 위하여 원자력 시설물에 관한 내진설계기준과 일반 구조물 및 건축물 내진설계기준인 표준설계스펙트럼을 비교하였다[4]. 광동업 등은 재해스펙트럼을 사용하여 확률론적인 지진계수를 도출하였고 산출된 지진계수를 기존 내진설계기준연구에 규정된 지진계수와 비교 검토하였다[2]. 강성훈 등은 철근콘크리트 전단벽식 구조의 고유주기 산정식을 제안하였고 이를 검증하기 위하여 10개동의 아파트에 대한 상시진동 고유주기를 측정하여 제안된 식과 비교 검증하였다[1]. 성민호와 최세휴(2011)는 풍속 고도분포계수를 산정함에 있어서 지표면조도가 설계자의 주관적 판단에 의하여 결정되고 있어 지표면조도를 GIS프로그램을 이용하여 정량적으로 구분하였다[8]. 이와 같이 내진설계 또는 지리정보시스템에 관한 각각의 연구는 활발히 이루어져 왔으나, 지리정보시스템을 이용한 내진설계에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 고유주기에 따른 지진응답계수를 수치지형도와 GIS프로그램인 ArcGIS를 이용하여 3차원으로 분석하고자 한다.

2. 지진응답계수의 산정

건축물의 지진응답계수는 밀면전단력, 지진력과 비례관계를 가지므로 내진설계의 중요한 요소로서

식(1)과 같다[6].

$$C_s = \frac{S_D}{\left(\frac{R}{I_E}\right)T} \quad (1)$$

다만, 지진응답계수는 식(2)의 값 보다는 크고, 식(3)의 값보다는 작아야 한다.

$$C_s = 0.01 \quad (2)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_E}} \quad (3)$$

여기서, S_{DS} 는 단주기 설계스펙트럼 가속도, S_{D1} 은 주기 1초의 설계스펙트럼 가속도, R 은 반응수정계수, I_E 는 건축물의 중요도 계수, T 는 건축물의 고유주기(초)를 나타낸다. 단주기설계스펙트럼가속도 S_{DS} 및 주기 1초의 설계스펙트럼가속도 S_{D1} 은 식(4) 및 식(5)와 같다.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S F_v \quad (4)$$

$$S_{DS} = \frac{5}{3} S F_a \quad (5)$$

지진파는 지반의 전단변형에 의하여 전달되므로 지진파의 속도는 지반의 전단강성과 관계가 깊다. 지반증폭계수는 지진발생 시 건축물이 위치한 지반의 성질에 따라 건축물의 거동을 지반의 분류와 지반에 따른 지진가속도가 차이 나는 것을 반영한 것으로서 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 지진구역1과 지진구역2는 표 2에 의해 결정된다.

표 2 지역계수(S)

지진구역	행정구역	지역계수(S)
1	지진구역2를 제외한 전지역	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.14

건축물의 지진저항능력은 구조시스템마다 차이가 나기 때문에 구조시스템에 따른 반응수정계수를 결정해야 한다. 반응수정계수는 지진에 저항하는 연성 능력과 진동의 진폭이 지속적으로 줄어드는 감쇠 등을 반영한 계수이며 대표적인 것을 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 반응수정계수(R)

분 류	반응수정계수(R)
철근콘크리트 보통전단벽	4.0
철근콘크리트 보통모멘트골조	3.5
철근보강 조적 전단벽, 철골구조시스템	3.0
무보강 조적 전단벽	1.5

건축물은 용도와 규모에 따라 중요도를 분류한다. 따라서 건축물의 중요도에 따른 지진에 관한 중요도계수는 표 4와 같다.

표 4. 중요도계수(I_E)

분 류	중요도계수(I_E)
중요도(특)	1.5
중요도(1)	1.2
중요도(2), (3)	1.0

건축물의 고유주기는 식(6)과 같다.

$$T=C_T h^{\frac{3}{4}} \quad (6)$$

여기서, h 는 건축물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체높이(m)이며, 좌굴강성계수(C_T)는 표 5와 같다.

표 5. 좌굴강성계수(C_T)

분 류	좌굴강성계수(C_T)
철골모멘트골조	0.085
RC모멘트 골조, 철골편심가새 골조	0.073
그 외 다른 모든 건축물	0.049

3. 지리정보시스템의 활용

3.1 대상지역의 선정 및 개요

지리정보시스템의 적용을 위하여 대상지역은 대구광역시 북구 복현동으로 선정하였다. 복현동은 저층의 주택들이 산재해 있고 학교, 상가 등의 중층건물과 고층 아파트 등 다양한 높이의 건축물들이 존재한다. 또한 철근콘크리트모멘트골조, 철골모멘트골조, 철근콘크리트 내력벽식 구조, 조적식 구조 등 다양한 구조시스템으로 구성되어 있어 지진응답계수를 분석하기에 적합하다. 대구광역시는 도심지와 낙동강 유역을 포함한 대부분의 지역이 S_D 지반으로 분류되므로 본 연구에서는 대상지역의 지반을 S_D 지반으로 가정하여 연구를 수행하였다.

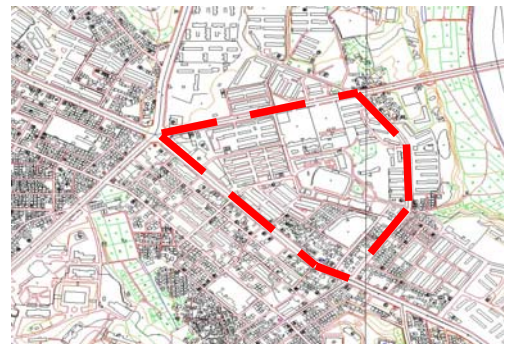


그림 1. 연구대상 지역의 수치지형도

3.2 지리정보시스템의 적용

지리정보시스템의 적용은 그림 2과 같은 절차에 따라 수행하였다. 1/5000 수치지형도에서 대상지역인 대구광역시 북현동을 추출 하였으며, 연구에 필요한 건축물의 높이, 중요도계수, 반응수정계수, 건축물의 구조형식 등의 속성데이터를 대구광역시 생활공간시스템을 통하여 수집하였다. 수집한 데이터를 ArcGIS(9.3.1 version)를 이용하여 건축물 레이

어에 입력하였다. ArcGIS에 입력된 속성데이터를 이용하여 건축물의 지진응답계수를 산정하였으며, ArcScene를 이용하여 3차원 분석을 수행하였다.



그림 2. 지리정보시스템 적용 절차

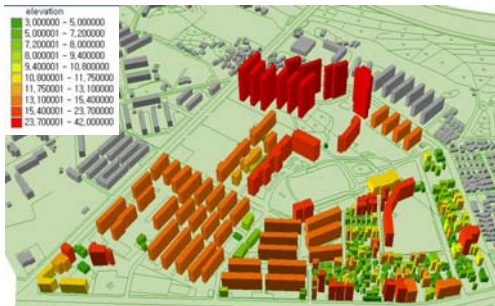
4. 분석 및 검토

본 연구에서는 수집된 자료들을 ArcGIS를 이용하여 데이터베이스를 구축하였으며 ArcScene의 공간분석기능을 이용하여 대상지역의 현황분석을 그림 3과 같이 3차원으로 나타낼 수 있었다. 각 항목별 분석결과를 바탕으로 ArcGIS의 Field Calculator 기능을 이용하여 건축물의 고유주기와 지진응답계수를 산정할 수 있었다.

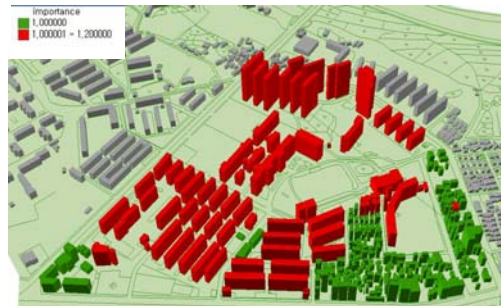
4.1 고유주기 분석

건축물의 고유주기는 그림 4와 같이 학교, 고층 아파트의 경우 0.6초 이상의 주기를 나타내었으며, 주택과 같은 저층 건축물은 0.3초 이하의 주기를 나타냄을 알 수 있다. 그리고 저층 아파트의 경우 비슷한 높이의 학교 건축물보다 단주기로 나타났는데, 그 이유는 건축물의 구조시스템의 차이 때문이라고 판단된다.

그림 5에서 보는 바와 같이 건축물의 높이가 높아짐에 따라 고유주기가 증가함을 알 수 있었다. 고유주기 0.1~0.3초에서의 기율기와 0.3초 이상의 기



(a) 건축물 높이 현황



(b) 중요도 계수 현황



(c) 구조시스템 현황



(d) 반응수정계수 현황

그림 3. 대상지역의 현황분석



그림 4. 고유주기 분석



그림 6. 지진응답계수 분석

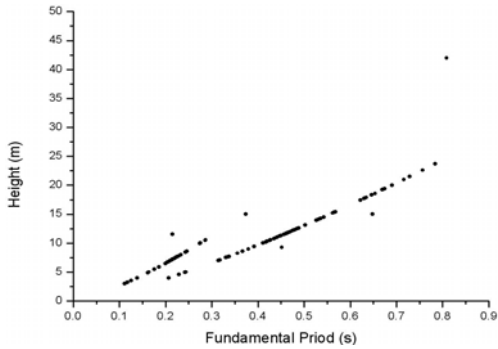


그림 5. 높이-고유주기

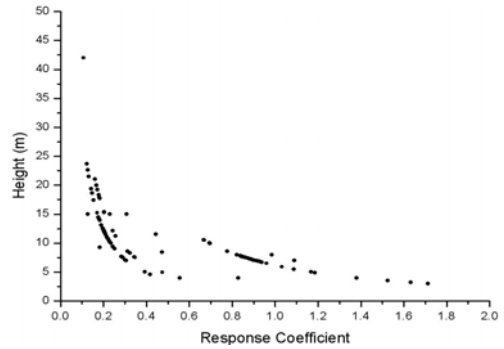


그림 7. 높이-지진응답계수

울기가 차이가 나는 것은 0.1~0.3초의 고유주기를 가지는 저층형 건축물의 구조가 조적식이나 목조 건축물들이 대다수인 반면, 0.3초 이상의 건축물들은 철근콘크리트 모멘트 골조 또는 철골 모멘트골조로 이루어져 있기 때문이라고 판단된다. 또한 42m인 고층아파트는 전단벽식 구조물로 철근콘크리트 모멘트골조 보다 작은 시스템계수를 가지지만 다른 구조물에 비하여 약 10~30m 높이 때문에 0.808초로 가장 큰 장주기를 나타내었다.

4.2 지진응답계수 및 지진응답계수 상한값 분석

최대지진응답을 대표하는 지진응답계수는 그림 6과 같이 아파트와 학교 등 고층의 건축물이 주택, 상가 등 저층의 건축물보다 작은 값이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 따라서 건축물의 높이가 높을수록 지진응답계수가 작게 나타남을 확인할 수 있었다.

그림 7의 높이-지진응답계수 관계 그래프에서도 42m인 고층아파트가 가장 작은 지진응답계수를 나타내었고, 높이가 낮은 건축물 일수록 큰 지진응답계수 값을 나타내어, 건축물의 높이와 지진응답계수가 반비례 관계인 것을 확인할 수 있었다.

건축구조기준에 규정된 지진응답계수의 상한값은 그림 8과 같이 지진응답계수와 비슷하게 나타났으나, 학교 건물은 저층 아파트보다 지진응답계수 상한값이 상대적으로 크게 나타내는 차이점을 보였다. 또한 높이에 따른 지진응답계수 상한값의 그래프인 그림 9는 지진응답계수의 상한값이 높이에 관계없이 특정 값에서 분포함을 확인할 수 있었다. 이는 지진응답계수 상한값의 산정 시에 건축물의 고유주기가 반영되지 않기 때문이라고 판단된다.



그림 8. 지진응답계수 상한값

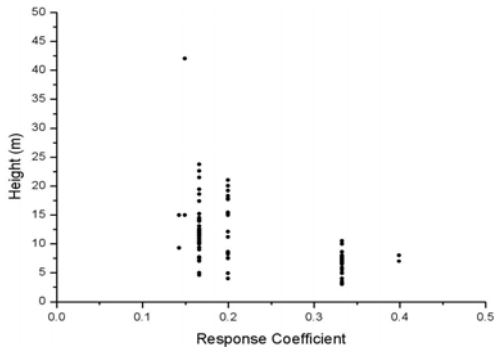


그림 9. 높이-지진응답계수 상한값

4.3 고유주기와 지진응답계수 비교

고유주기와 지진응답계수의 관계는 그림 10과 같이 장주기의 건축물일수록 작은 지진응답계수를 가지며 단주기의 건축물일수록 큰 지진응답계수를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 이를 반영한 적절한 내진설계가 이루어져야 한다고 판단된다. 건축물이 높아질수록 고유주기가 길어지며, 이는 고층의 건물일수록 작은 지진응답계수를 가지며 저층의 건축물일수록 큰 지진응답계수를 가진다는 것을 의미한다. 따라서 저층 건축물이 고층 건축물에 비하여 더 취약한 지진저항력을 가짐을 알 수 있었다. 지진응답계수가 0.1~0.6에서의 기울기와 0.6이상의 기울기가 차이 나는 것은 고층 건축물과 저층 건축물이 다른 구조시스템을 가지기 때문이라고 판단된다.

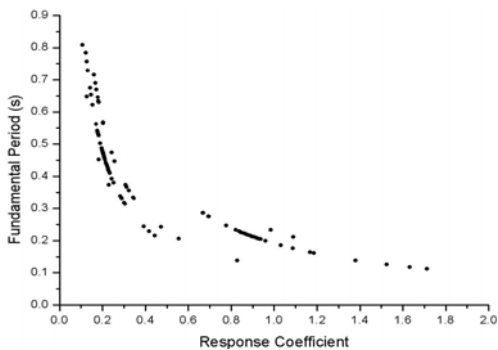


그림 10. 고유주기-지진응답계수

지진응답계수의 상한값은 고유주기가 반영되어 있지 않아 그림 11과 같이 고유주기와는 무관하게 특정 계수의 값을 나타내게 된다. 이와 같이 지진응답계수가 고유주기와 밀접한 관계를 가지는 반면, 지진응답계수 상한값은 고유주기와 무관하게 책정

되어있어, 추후 보다 합리적인 지진응답계수 산정에 관한 연구가 수행되어야 한다고 판단된다.

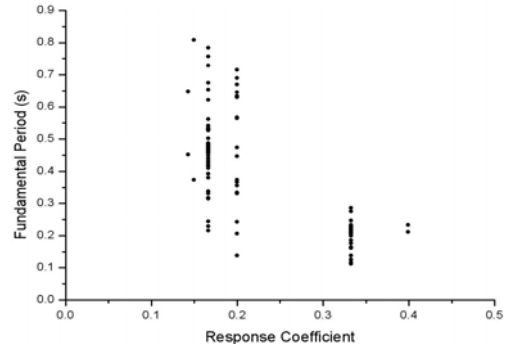


그림 11. 고유주기-지진응답계수 상한값

5. 결론

본 연구에서는 건축물들의 고유주기에 따른 최대 지진응답을 대표하는 지진응답계수를 ArcGIS를 이용하여 3차원으로 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 입체적인 3차원 공간에서 고유주기에 따른 지진응답계수를 비교 및 검토함으로써 구조물의 내진성능에 대한 분석을 효율적으로 평가할 수 있었다.

둘째, 지리정보시스템을 통하여 합리적이고 경제적인 내진설계를 할 수 있는 기초 자료로 사용될 것이라고 생각된다.

셋째, 저층의 건축물이 고층의 건축물에 비해 더 큰 지진응답계수를 가짐을 본 연구를 통하여 알 수 있었다. 따라서 고층건물뿐만 아니라 저층건물에 대한 내진설계가 더욱 필요하며, 기존의 내진설계가 이루어지지 않은 건축물들도 적절한 내진보강설계가 이루어져야 한다고 판단된다.

참고 문헌

[1] 강성훈, 홍성걸, 박홍근, 정란, 2011, “철근 콘크리트 전단벽 구조물의 고유주기”, 한국지진공학회 논문집, 제15권, 제1호, pp. 29-38.
 [2] 광동엽, 정창균, 이현우, 박두희, 2009, “新 확률론적 지진분석 및 지진계수 개발 Part II: 확률론적 지진계수 도출”, 한국지반환경공학회 논문집, 제

10권, 제7호, pp. 111-115.

- [3] 금대하, 노필성, 김재웅, 1994, “골조의 기본진동 주기 산정을 위한 수계산법”, 대한건축학회논문집, 제10권, 제10호, pp. 185-192.
- [4] 김준경, 2009, “최근발생지진 관측자료를 이용한 응답스펙트럼 분석”, 한국암반공학회지, 제19권, 제6호, pp. 490-497.
- [5] 김윤중, 김원영, 유일현, 1994, “지반의 지질공학 적 특성분석을 위한 GIS 활용 연구”, 한국GIS학회지, 제2권, 제1호, pp. 39-46.
- [6] 대한건축학회, 2009, “건축구조기준”, 기문당.
- [7] 배익주, 강병두, 운성원, 김재웅, 1999, “고층구조 물의 진동주기 약산식”, 대한건축학회논문집, 제19권, 제1호, pp. 51-56.
- [8] 성민호, 최세휴, 2011, “GIS를 이용한 풍속고도분포계수 산정”, 한국공간정보학회지, 제19권, 제1호, pp. 13-19.



서 은 수

서 은 수

2010년 경북대학교 지리교육학과 졸업
(교육학사)

2011년~현재 경북대학교 대학원 공간
정보학과 (석사과정)

관심분야는 방재GIS, 공간정보 관리시



최 세 휴

최 세 휴

1990년 경북대학교 토목공학과 졸업
(공학사)

1995년 경북대학교 대학원 토목공학과
졸업(공학석사)

2000년 경북대학교 대학원 토목공학과

졸업(공학박사)

2004년~현재 경북대학교 건축토목공학부 부교수

관심분야는 방재GIS, 공간정보 관리시스템

논문접수 : 2011.05.13

수 정 일 : 1차 2011.09.27 / 2차 2012.01.11

심사완료 : 2012.01.31