

# 상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물의 고유주기예측

## Natural Period Estimation for the Buildings of Upper Wall and Lower Frame Type

박기수\*  
Park, Ki Su

김희철\*\*  
Kim, Hee Cheul

김종헌\*\*\*  
Kim, Jong Heun

### 국문요약

상부벽식 하부골조를 가진 복합구조물은 부족한 대지를 효율적으로 활용하기 위하여 건설되고 있다. 이러한 복합건물은 상부벽식-하부골조를 가지는 구조로써 일반적으로 전이보 또는 전이판으로 상하부를 연결하고 있다. 따라서 상하부 구조사이의 강성과 질량에 많은 차이가 발생하게 된다. 구조물의 고유주기는 지진하중과 밀면전단력을 결정하기 위한 중요한 변수이다. 그러나 현재 국내 규준에서 제안하는 고유주기 산정식은 이러한 건물에는 적용할 수 없다. 본 연구에서는 상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물의 고유주기의 산정에 영향을 미치는 변수들 중 가장 큰 영향을 미치는 건물의 상하부 층수에 따른 변수만을 고려하여 고유주기산정식을 제안하였다. 하부는 2~5개 층을 가지고, 상부는 10~18개 층을 가지는 15~20층의 건물이며 정형적인 평면을 가지는 복합구조물로 한정하였다. 건물 내부의 채움벽에 대한 효과를 고려한 고유주기 제안식은 다음과 같다.

장변 방향 :  $T_L = (0.20H_h + 0.05H_i) / \sqrt{B} - 0.42$

단변 방향 :  $T_S = (0.07H_h + 0.12H_i) / \sqrt{B} - 0.40$

**주요어** : 복합구조물, 고유주기, 밀면전단력, 내부채움벽, 회기분석

### ABSTRACT

In general, building with the upper wall and lower frame type have been constructed in Korea for the purpose of effective use of limited land. This is a unique structural type which composed of two different structural system having either the deep transfer girder or the thick transfer plate that brings a sudden change of stiffness and mass. The natural period is a very important factor in deciding base shear. However, the natural period equations recommended by the current building code of Korea can not be applied directly to this type of structures. The purpose of this study is to recommend an appropriate natural period estimation equation for the buildings of upper wall and lower frame type. The range of building discussed on this paper was limited to 15~20 stories with 2~5 stories in the lower frame part and 10~18 stories in the upper wall part having regular shape of plan. The proposed estimation equations of natural frequency are as follows considering the effect of infilled panel during earthquake.

Long side formula :  $T_L = (0.20H_h + 0.05H_i) / \sqrt{B} - 0.42$

Short side formula :  $T_S = (0.07H_h + 0.12H_i) / \sqrt{B} - 0.40$

**Key words** : complex building, natural period, base shear force, infilled panel, linear regression

## 1. 서 론

부족한 대지를 효율적으로 활용하고, 도심의

교통난과 주거환경을 개선하기 위한 방안으로 상부벽식-하부골조를 가진 복합구조(이하 복합 구조라 한다)가 많이 건설되고 있다. 일반적으로 복합구조물의 구조시스템은 하부의 골구조와 상부의 벽식구조로 구성되는 두 가지의 시스템이 하나의 건물을 이루어 하나로 거동하는 구조시스템이다. 이런 특이한 구조형식은 내

\* 경희대학교 건축공학과, 석사과정

\*\* 경희원·경희대학교 토목 건축공학부, 조교수

\*\*\* 경희대학교 토목 건축공학부, 교수

본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

진설계기준과 해석기법의 적용에 있어 불분명한 사항을 내포하게 된다. 그러나 이러한 사항에 대한 충분한 연구와 검증이 없이 관습에 따라 설계·시공한다는 것은 지진에 대한 대비라고 볼 수 없으며, 확인되지 않는 설계로 인한 안전설계는 자원의 낭비로 이어진다. 국내의 내진설계기준은 지진활동에 대한 경험부족으로 대부분이 외국의 설계기준(ATC3-06, UBC-88 등)을 참고로 하여 작성되었으므로 제반 계수들(design parameters)이 우리 나라의 실정과 맞지 않는 부분이 있다. 따라서 적절한 개선을 통하여 우리의 실정에 적합하게 개선하는 과정이 필요하다.

구조물의 내진설계를 수행할 경우에 가장 중요한 과정은 적합한 지진하중을 산정하는 것이다. 중고층건물(15~20층)에 적합한 지진하중을 산정하기 위해서는 동적해석을 수행해야 하나 계산과정이 번거롭고 동적해석에 관한 지식이 요구되므로 좀 더 간편한 방법의 필요성을 느끼게 된다.

현행 건축법에 규정되어 있는 건물에 대한 고유주기 산정식은 ATC방법에 따른 것으로, 1971년 발생한 San Fernando 지진에 의해 실제 건물들에서 측정된 기록을 근거로 작성되었다. 그러나 측정대상으로 하고 있는 건물들이 국내의 복합구조물과 매우 상이한 성격의 건물들이며, 고유주기를 예측함에 있어서 복합구조물의 특성과는 다른 비현실적인 경향을 나타낸다. 현재 우리 나라에 건설되고 있는 복합구조물의 경우 고유주기 산정은 그 외의 구조물에 관한 기준을 따르거나 고유치해석을 수행한 결과를 따른다. 그러나 기준에 의한 식은 복합구조물과 같이 특수한 구조물을 대상으로 한 식이 아니므로, 건물의 강성이나 질량의 변화를 고유주기 산정식에 반영할 수 있는 보다 합리적인 변수의 사용이 요구된다. 본 연구의 목적은 복합구조물의 등가정적하중을 보다 정확하게 산정하기 위한 중요한 변수중 하나인 고유주기의 산정식을 도출하는데 있다.

기준에서 제안된 식은 실제 건물들이 진동한

기록을 근거로 제안한 실험식이다. 그러나 많은 복합구조물을 실험하기는 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 고유치해석을 통하여 고유주기를 산정하였다. 본 연구에서는 실제 건설된 구조물 중 정형의 평면을 가진 건물로써, 15층~20층의 복합구조물을 그 대상으로 하였다. 고유치 해석에 의한 주기는 어느 정도 정확하지만 비구조재의 영향이 무시되므로 질량보다 충강성이 저평가되어 고유치해석에 의한 주기가 실제 건물의 주기보다 크게 산정될 수 있다. 그러나 비구조재의 재질, 배치형태 등이 다양하므로 수 많은 비구조재를 전부 고려한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 비구조재에 의한 영향은 동적해석에 의한 결과에 감소율이라는 일정한 계수를 곱하는 방법을 사용하였다.

고유주기는 건물의 강성과 질량의 식으로 이루어진다. 복합구조물은 상부구조와 하부구조의 강성이 다르고 질량의 분포가 상이하므로 그것을 반영하는 변수인 상부구조물의 높이, 하부구조물의 높이 그리고 밑면길이(B)를 매개변수로 하였다. 고유주기를 해석하는 프로그램은 MIDAS-GEN을 사용하였다. 고유주기 산정식을 도출하기 위하여 위에서 언급한 매개변수들의 값을 달리하여 고유치해석을 수행하였으며 회귀분석 프로그램으로는 SPSS 8.0을 사용하였다.

본 연구의 진행방법은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 기존 기준과 문헌을 고찰한다.
- (2) 기존 상부벽식 하부골조를 가진 복합건축물에 대한 정보를 수집한다.
- (3) 기존의 문헌과 건물정보를 통하여 매개변수를 결정한다.
- (4) 전산해석을 수행할 모델을 설정한다.
- (5) 매개변수를 달리하여 전산해석을 수행한다.
- (6) 해석 결과를 분석하여 회귀분석을 통하여 고유주기 산정식을 도출한다.
- (7) 각각의 건물에 infilled panel을 모델링하여 다시 한번 전산해석을 수행한다.
- (8) 해석결과를 분석하고 infilled panel을 고려한

감소율을 산정한다.

- (9) (8)의 감소율과 ATC-3-06에서 도출한 감소율을 곱하여 최종의 감소율을 결정한다.
- (10) (6)에서 구한 고유주기 산정식에 (8)의 감소율을 곱하여 적절한 고유주기 산정식을 도출한다.
- (11) 기존 건물의 고유치 해석을 통해 도출한 산정식의 타당성 여부를 평가한다.

## 2. 복합구조물의 고유주기산출 사례분석

### 2.1 ATC-3-06에 의한 고유주기

우리 나라 규준의 모태인 ATC-3-06<sup>(8)</sup>에서 고유주기산정식이 어떻게 도출되었는지를 파악하여 보았다. 복합구조물에 대한 규준은 없기 때문에 콘크리트 모멘트 골조구조와 전단벽 구조물에 대해 조사하였다. 콘크리트 모멘트골조는 14개의 건물을 대상으로 장·단변 주기를 구하였으며 전단벽구조물은 9개의 구조물을 대상으로 장·단변주기를 구했다. 표 1과 같이 안전율은 측정식을 규준식으로 나누어 산정하였는데 여기서 주어진 안전율은 1.4였다. 규준식은 실제측정주기에 대하여 회귀분석한 식을 1.4로 나누어서 실제주기보다 주기값이 작게 계산되도록 하였다. 즉 실제주기를 회귀분석한 식을  $0.74(=1/1.4)$ 을 곱하여 규준식을 제안하였다.

### 2.2 복합구조물의 설계사례 분석

동적해석을 수행할 모델을 선택하기 위하여 국내에 건설된 18개의 복합구조물을 대상으로 구조물이 가지는 특징을 조사하였다. 건물의 높이 및 층수, 층고, 전이보를 가지는 층의 경간 수 및 경간 길이, 전이보의 깊이, 전이보를 기준

으로 하부층(골조층), 상부층(내력벽층)의 층수 및 높이, 상부층과 하부층의 강성 및 층수, 상부층과 하부층의 질량을 조사하였다.

10층, 12층, 13층, 16층, 18층, 20층, 21층, 23층의 건물을 각각 1개씩, 14층 2개, 그리고 15층, 19층은 각각 4개를 조사하였다. 조사한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 하부층은 1~5층으로 분포되며 2개 층이 5개, 3개 층이 4개, 4개 층이 4개로 고르게 분포되었고 상부층은 6~19개 층으로 분포되며 15개 층이 4개로 가장 많았다.
- (2) 건물의 높이는 약 55m이고 대부분의 건물이 하부층은 4.5~5m, 상부층은 2.8~3m의 층고를 가진다.
- (3) 전이보 층의 경간 수는 장변 방향은 4~6개, 단변 방향은 1~3개로 다양하였으나 2개가 가장 많았다. 경간 길이는 6~10m의 분포를 이루었으며(8m가 많음) 하부층은 상가의 용도이므로 장변은 3~10개, 단변은 2~5개의 경간으로 이루어져 있다.
- (4) 전이보의 깊이는 1.7~3.45m의 분포를 가지며(주로 2.1m내외) 전이보의 폭은 0.7~1.5m의 범위를 가지고 있었다. 따라서 일반적인 전이보의 폭은 0.8m정도의 크기를 가지는 것을 알 수 있었고 하부 골조에서의 일반적인 보의 크기는  $500 \times 800\text{mm}$ 이 많았다.
- (5) 장변 방향의 하부강성은 건물 코아의 배치에 따른 차이는 많았으나 약  $3.5 \times 10^6 \text{ton/m}$ , 단변 방향의 하부강성은  $6.4 \times 10^6 \text{ton/m}$ 로써 단변방향의 강성은 장변방향의 강성보다 약 1.8배 큰 것으로 나타났다.
- (6) 상부층 장변의 강성은 건물 평면의 크기, 벽의 양에 따라 달라지므로 건물의 형태에

표 1 측정식과 규준식의 비교

구조물 종류	측정식	규준식	안전율
철골	$T_r = 0.049 h_n^{3/4}$	$T_r = 0.035 h_n^{3/4}$	1.4
철근콘크리트	$T_r = 0.035 h_n^{3/4}$	$T_r = 0.025 h_n^{3/4}$	1.4
전단벽구조	$T_r = 0.07 h_n / \sqrt{D}$	$T_r = 0.05 h_n / \sqrt{D}$	1.4

다른 차이가 큰 것을 알 수 있었고 약  $4.5 \times 10^7 \text{ton/m}$ 를 가진다. 상부층 단변의 강성은  $1.6 \times 10^8 \text{ton/m}$ 로서 단변방향의 강성보다 3.6배정도 크다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 내력벽이 주로 단변방향으로 위치하기 때문이다.

- (7) 상부강성과 하부강성의 강성비(상부강성/하부강성)는 최대 160배정도 차이가 나는 경우도 있으나 장변 방향의 강성비는 약 15배, 단변 방향의 강성비는 약 20배 정도로 나타났다. 전이보가 있는 층의 질량은  $1000 \text{ton/g}$  ( $g=m/s^2$ ), 하부층의 질량은  $400 \text{ton/g}$ , 그리고 상부층의 질량은  $200 \text{ton/g}$  정도로 나타났다. 전이층의 하부 층에 대한 질량비는 크기는 약 5배였으나 평균 2.8배로 나타났으며, 상부 층에 대한 질량비는 10배 이상도 있었으나 평균 4.7배 정도인 것으로 나타났다.

### 3. 동적해석을 통한 고유주기 산출

#### 3.1 전산해석 모델

복합 구조물은 두 가지 이상의 구조형식을 가진 건물이므로 수직적인 비정형성이 매우 강한 건물이다. 비정형적인 건물은 규준에서 동적해석을 하도록 권장하고 있다. 그럼에도 불구하고 주기의 약산식이 필요한 이유는 간단하게 지진해석을 수행함으로써 설계의 편리성과 설계초기단계에서 구조물의 안전성을 확보할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 전산해석모델은 여러 가지 복합구조물의 평면형태 중 정형적인 장방향 평면을 가진 구조물, 상부구조와 하부구조의 평면길이가 같은 구조물 2개와 다른 구조물 1개를 선택하였으며, 장변과 단변의 비는 2 이내의 건물을 선택하였다.(그림 1, 그림 2, 그림 3, 표 2)

상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물의 고유주기를 산정하는 기존의 약산식을 살펴보면 건물의 높이와 지진하중이 작용하는 방향의 밑면에서의 건축물의 평면치수(B)를 매개변수로 하고 있다. 주기는 건물의 질량과 강성에 많은 영향을 받으므로 본 연구에서는 질량과 강성이

다른 하부층과 상부층의 높이, 건물의 장변, 단변의 길이를 매개변수로 하였다. 각각의 매개변수와 종속변수인 고유주기의 관계를 파악하기 위하여 정형의 평면 중 전이보 층의 경간 수, 코아의 수, 상부층의 층수, 하부층의 층수, 건물의 높이를 달리하여 총 70여개 모델에 대한 고유치해석을 통하여 식을 도출하였다.

경간수는 장변의 경우 4개, 단변의 경우 1~2개, 코아의 수는 1~2개, 건물의 층수는 10~20층, 하부층은 2~5개 층, 상부층은 건물의 총 층수와 하부층의 층수에 따라 10~18개 층에 따른 조합으로 70여 개를 모델링하였다. 건물의 층고는 복합구조물의 설계 시 가장 많이 사용하는

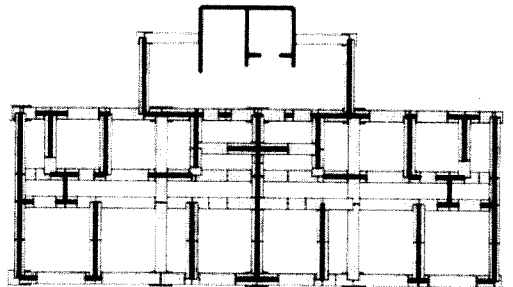


그림 1 Type A 평면

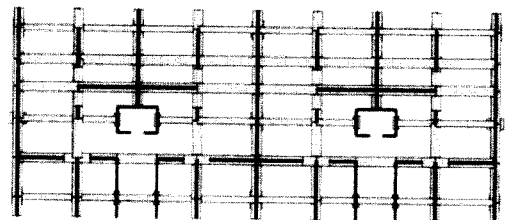


그림 2 Type B 평면

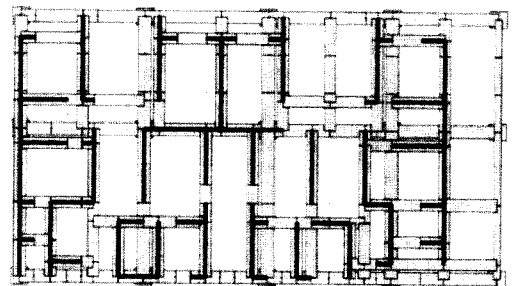


그림 3 Type C 평면

표 2 동적해석 모델

건물평면 type	층수 (층)	하부 층수 (층)	장변 경간수 (개)	단변 경간수 (개)	장변 길이 (mm)	단변 길이 (mm)	기둥 크기 (mm)	보 크기 (mm)	전이보 크기 (mm)	벽 두께 (mm)	슬라브 두께 (mm)	코아 (개)
A	15~20	2~5	4	1	27600	15600	700×600 900×1300	500×600 600×700	600×2000 700×2000	180	200	1
B	15~20	2~5	4	2	36000	18000	500×1000 800×1300 900×1300 1000×1300	350×700 450×700	750×2100 500×2100	180	200	2
C	15~20	2~5	4	2	32400	20000	500×1000 800×1000 900×1000 1000×1300	350×700 450×700	500×2100 750×2100	180	200	1
비고	하부층고:4.5m, 상부층고:2.8m, 층수에 따른 부재의 크기는 ±10cm의 차이는 있으나 고유주기에 미치는 영향이 5%정도로 작으므로 무시하였다.											

4.5m(하부층), 2.8m(상부층)를 사용하였다. 평면의 형태는 실제구조물을 사용하였다.

본 연구에서는 고유주기를 구하기 위하여 고유치해석을 수행하였으므로 벽, 기둥과 보는 강성과 질량을 표현할 수 있는 요소를 사용하였다. 적용한 요소로는 벽은 plate요소, 기둥과 보는 보요소(3D beam element)를 사용하였다.

### 3.2 고유치해석 결과의 분석

복합구조물의 평면을 상부·하부층수를 변화시키면서 고유치해석을 수행한 결과는 다음과 같다. 범례로 type A, B, C 뒤에 붙는 숫자는 하부층수를 나타낸다. 고유치 해석에 사용된 평면은 복합구조물의 전단벽만을 고려하였으며 infilled frame의 효과는 고려하지 않았다.

#### 3.2.1 장변 방향의 고유주기(그림 4, 그림 6, 그림 8)

- ① 하부 2개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.7~2.9초, type B 건물은 1.5~2.6초, type C 건물은 1.2~2.1초로 나타났다.
- ② 하부 3개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.6~2.7초, type B 건물은 1.4~2.4초, type C 건물은 1.2~2.0초로 나타났다.

- ③ 하부 4개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.6~2.6초, type B 건물은 1.4~2.3초, type C 건물은 1.3~1.9초로 나타났다.
- ④ 하부 5개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.4~2.3초, type B 건물은 1.4~2.2초, type C 건물은 1.2~1.8초로 나타났다.

#### 3.2.2 단변 방향의 고유주기(그림 5, 그림 7, 그림 9)

- ① 하부 2개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.9~1.4초, type B 건물은 0.8~1.2초, type C 건물은 0.7~1.1초로 나타났다.
- ② 하부 3개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.0~1.5초, type B 건물은 0.9~1.3초, type C 건물은 0.7~1.1초로 나타났다.
- ③ 하부 4개 층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.2~1.6초, type B 건물은 1.1~1.5초, type C 건물은 0.8~1.1초로 나타났다.
- ④ 하부 5개 층을 가질 때 건물의 경우는 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.3~1.7초, type B 건물은 1.3~1.7초, type C 건물은 0.9~1.2초로 나타났다.

고유주기에 대한 해석 결과를 분석해 보면 장변 주기의 변화량보다 단변주기의 변화량이 작고, 3가지 type 중에서 type C가 변화량이 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 장·단변 방향의 고유주기비(장변고유주기/단변고유주기)는 1~2 정도 로 나타났다.

### 3.3 회귀분석을 이용한 산정식 도출

그림 4-그림 9에 나타난 바와 같이 동적해석에 의한 장단변 방향의 주기는 선형에 가까운 형태를 취하고 있으므로 일차방정식으로 가정할 수 있다. 국내규준의 기타구조물에 대한 주기식에서 건물의 강성과 질량을 표현하는 변수

로 밀면길이와 건축물의 높이를 사용했으며 복합구조물은 상·하부의 구조가 상이하므로 상부높이와 하부높이의 영향이 다르게 나타날 것이다. 그러므로 복합구조물의 고유주기 산정식은 수평력이 작용하는 방향과 평행한 면의 길이(B), 상부높이(H<sub>h</sub>) 그리고 하부높이(H<sub>l</sub>)를 매개변수로 하고 주기(T)를 종속변수로 한 2원 1차방정식 형태의 근사식에 대한 유도가 가능하다.

회귀분석은 SPSS 8.0을 사용하였으며 본 해석에서 얻어진 자료의 상관분석을 통한 각각의 매개변수와 종속변수의 상관관계는 0.5~0.9로 나타났으며 다른 변수들보다 큰 상관관계를 나타내었다. 장변과 단변을 하나의 식으로 나타내

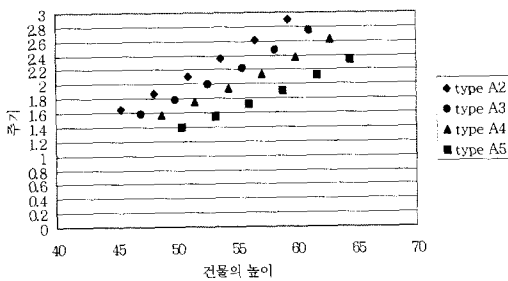


그림 4 Type A 건물의 장변주기

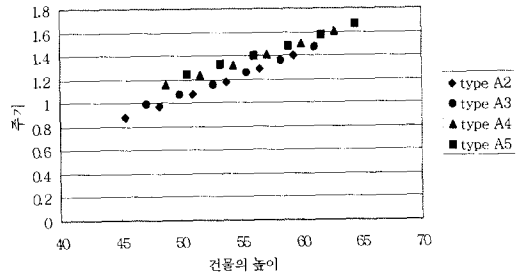


그림 5 Type A 건물의 단변주기

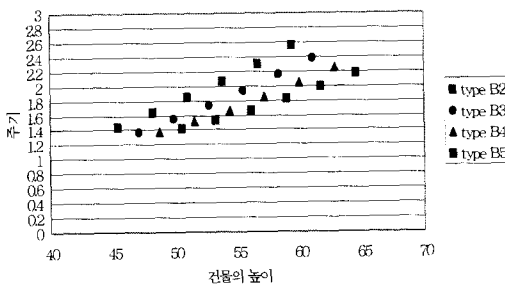


그림 6 Type B 건물의 장변주기

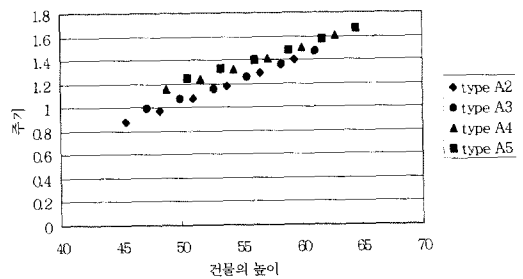


그림 7 Type B 건물의 단변주기

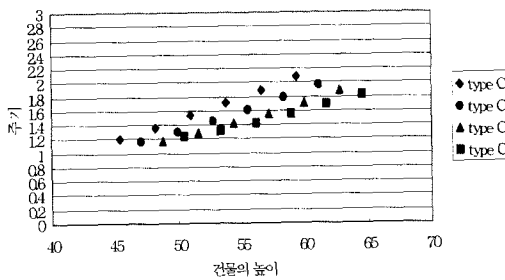


그림 8 Type C 건물의 장변주기

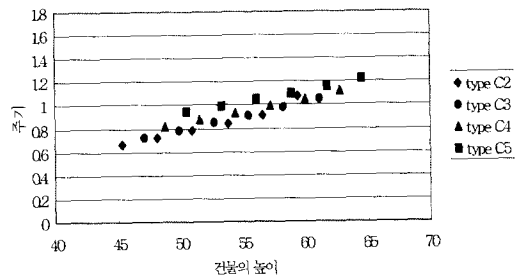


그림 9 Type C 건물의 단변주기

기 위해서는 강성의 분포를 표현할 수 있는 다른 변수가 필요하므로 장·단변에 각각 다른 식을 다음과 같이 제안하였다.

장변주기식 :

$$T_{w/o} = (0.36H_n + 0.08H_i) / \sqrt{B} - 0.76 \quad (1)$$

단변주기식 :

$$T_{w/o} = (0.12H_n + 0.20H_i) / \sqrt{B} - 0.65 \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에 명시된  $T_{w/o}$ 는 비구조부재를 고려하지 않은 고유주기를 말한다.

고유치해석을 통한 고유주기와 기준식(기타 구조물 주기식)에 의한 고유주기의 오차율을 비교하면 장변인 경우 평균 42.8%의 오차를 나타내었으며 단변인 경우 14.3%의 오차가 나타났다. 최대오차는 장변인 경우 65%의 오차를 가지며 단변인 경우 43%의 오차를 가졌다.

고유치해석을 통한 고유주기와 제안식에 의한 고유주기의 오차율을 살펴보면 장변인 경우 평균 10%의 오차를 나타내며 단변인 경우 평균 9.7%의 오차를 가지는 것을 알 수 있었다. 최대 오차는 장변인 경우 22%의 오차를 가지며 단변인 경우 -21%의 오차를 가진다. 여기서 기준식에 의한 오차율과 제안식의 오차율이 다른 이유는 기준식은 실제 실험값에 감소율을 곱해서 산출된 식이며 제안식은 비구조부재의 영향을 무시하였으며 또한 감소율을 곱하여 산정하지 않았기 때문이다. 따라서 비구조부재의 영향을 평가하여 보다 적절한 고유주기식을 도출하기 위해서는 위에서 산출된 고유주기식에 비구조부재로 인한 감소율을 보정해 주어야 한다.

#### 4. Infilled panel 및 감소율을 고려한 고유주기식 산출

##### 4.1 Infilled frame의 모델링법

구조물의 infilled panel을 고려하지 않고 모델링을 하면 강성이나 질량이 저평가되어 정확한 구조물의 고유주기를 구할 수 없다. 그러나

infilled panel을 정확하게 모델링을 하여 정확한 구조물의 거동을 표현하기는 거의 불가능하다. 실제로 frame과 infilled panel은 동일물처럼 거동하는 것은 아니므로 infilled frame의 면내강성은 frame의 강성과 infilled panel의 강성을 단순히 산술적으로 합한 값과 같은 것은 아니다.

FEMA-274<sup>(19)</sup>에 의하면 "실험적으로 횡강성이 작용할 때 infilled panel은 작용방향의 아래쪽과 반대방향의 위쪽이 frame과 분리되는 경향이 나타나고 작용방향의 위쪽과 반대방향의 아래쪽이 밀착되는 경향이 나타나므로 대각선의 압축재(strut)로 모델링 할 수 있다. 이와 같은 모델링에서 infilled panel의 두께와 탄성계수를 사용하는 것이 압축재의 효과적인 넓이를 결정하는데 문제를 최소화할 수 있다. 또한 건물전체를 모델링하여 거동을 평가하는데는 frame의 대각선을 중심으로 압축부재를 모델링하여도 무방하다"고 되어있다. 이러한 모델링법은 여러 가지가 있다.

Holmes<sup>(20)</sup>는 infilled panel의 대각길이의 1/3의 넓이를 가지는 회전단(pin)으로 연결된 대각압축재로 모델링할 수 있다고 제안하였다. Smith와 Riddington<sup>(21)</sup>은 압축재의 면적은 대각길이의 1/10의 넓이와 벽의 두께의 곱과 같다고 제안하였다. 또한 Angel 등<sup>(22)</sup>은 실험에 의하여 대각압축재의 넓이가 대각재 길이의 1/8이라는 것을 발표하였다.

위와 같은 연구결과를 참고하여 본 연구에서는 infilled panel을 다음과 같이 가정하였다.

- (1) Infilled panel은 두께 10cm의 조적벽으로 한다.
- (2) 조적벽의 재료적 특성은 표 3과 같이 가정한다.
- (3) 조적벽은 임시적으로 사용하는 칸막이 벽의 일종으로 배치를 정확하게 고려하는 것은 매우 어렵다. 따라서 가장 불리한 경우를 생각하여 모델링하고 그 평균값을 감소율로 주고자 하였다. 상부부분(벽구조)은 하부부분(골구조)보다 조적으로 이루어진 칸막이 벽이 적으므로 복도 쪽 현관과 화장실부분의 칸막이 벽을 고려하고 베란다 쪽은 거의 창으

로 이루어지므로 그 영향은 무시하였다. 하부의 골조부분은 공간의 용도에 따라 칸막이 벽의 배치에 차이가 많을 것이다. 따라서 외부는 창 면적을 고려하여 최대 1/2이 칸막이 벽으로 구성되었다고 가정하고 내부는 기둥사이에 칸막이 벽이 설치되는 것으로 가정한다.

- (4) Infilled frame의 모델링은 압축재를 양쪽의 대각선 방향으로 2개를 배치하여 구조물이 자유진동할 때 압축으로 작용하도록 하였다. 즉 압축만을 전담하는 요소로 사용하였다. 이러한 모델링으로 인한 질량의 감소는 칸막이 벽의 질량에서 압축재(strut)의 질량을 빼서 층 질량에 추가하였다.
- (5) 조적으로 이루어진 infilled panel은 대각의 압축재로 모델링하고 Angel et al<sup>(22)</sup>이 정한 대각길이의 1/8을 압축재의 너이로 사용하고 두께는 조적의 두께를 사용하였다.(그림 10)

표 3 재료의 특성

재료	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	단위중량 (kgf/cm <sup>3</sup> )	포와송비
조적	93567.25	2.05E-3	0.25
콘크리트	210000	2.4E-3	0.176

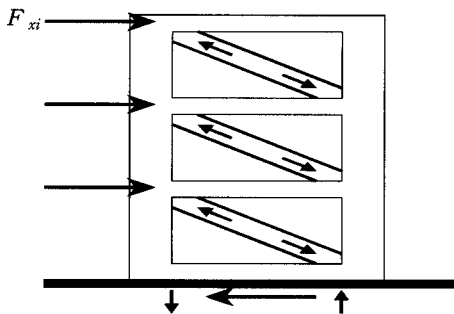


그림 10 Infilled frame의 압축재 모델

#### 4.2 Infilled panel을 고려한 건물의 고유주기 분석

Infilled panel이 고유주기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3장에서 사용된 3가지 type의 구조물(type A, type B, type C)에 infilled panel을 추가하

고 각각 type AA, type BB 및 type CC라고 하였다.

##### 4.2.1 장변 방향의 고유주기(그림 11, 그림 13, 그림 15)

- ① 하부에 2개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.4~2.3초, type BB 건물은 1.5~1.9초, type CC건물은 0.9~1.5 초로 나타났다.
- ② 하부에 3개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.3~2.2초, type BB 건물은 1.1~1.8초, type CC건물은 0.8~1.4 초로 나타났다.
- ③ 하부에 4개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.3~2.1초, type BB 건물은 1.1~1.7초, type CC건물은 0.9~1.3 초로 나타났다.
- ④ 하부에 5개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.2~1.9초, type BB 건물은 1.3~1.6초, type CC건물은 1.1~1.3 초로 나타났다.

##### 4.2.2 단변 방향의 고유주기(그림 12, 그림 14, 그림 16)

- ① 하부에 2개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.9~1.3초, type BB 건물은 0.7~1.1초, type CC건물은 0.5~0.7 초로 나타났다.
- ② 하부에 3개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.9~1.4초, type BB 건물은 0.9~1.2초, type CC건물은 0.5~0.8 초로 나타났다.
- ③ 하부에 4개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.0~1.4초, type BB 건물은 1.1~1.4초, type CC건물은 0.6~0.8 초로 나타났다.
- ④ 하부에 5개 층을 가질 때 type AA의 건물은 상부층수의 증가에 따라 1.1~1.5초, type BB 건물은 1.1~1.6초, type CC건물은 0.6~0.8 초로 나타났다.



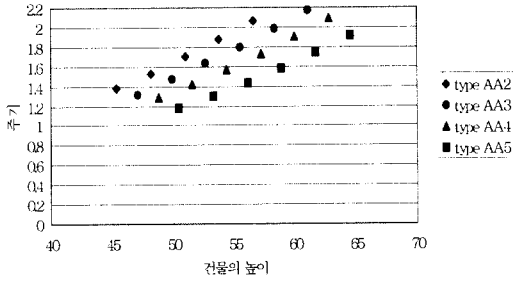


그림 11 Type AA건물의 장변주기

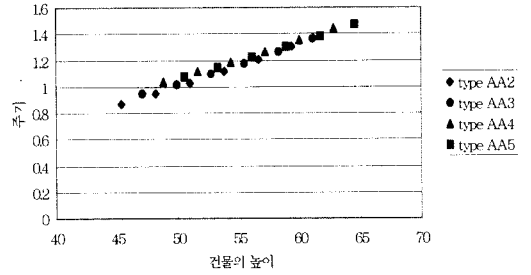


그림 12 Type AA건물의 단변주기

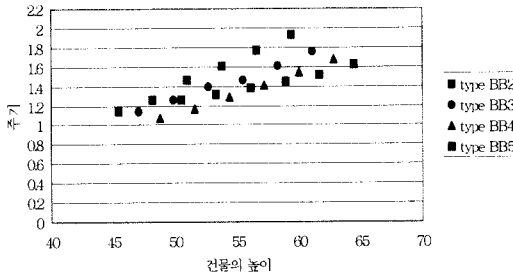


그림 13 Type BB건물의 장변주기

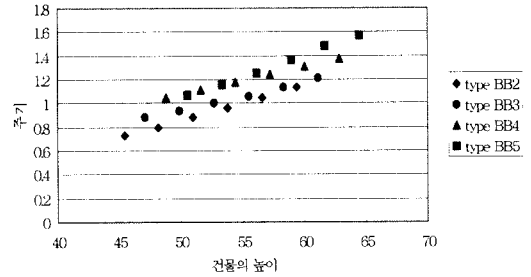


그림 14 Type BB건물의 단변주기

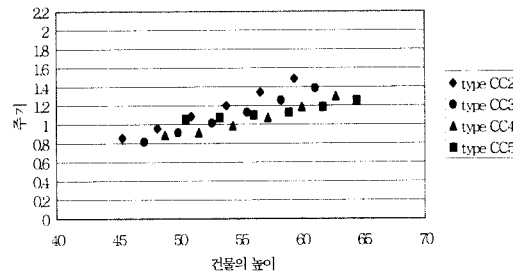


그림 15 Type CC건물의 장변주기

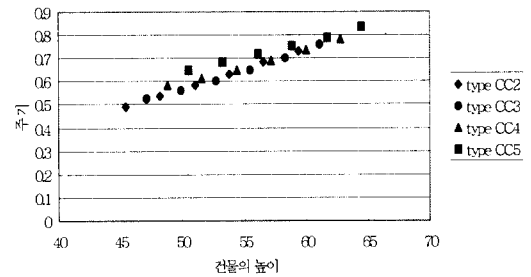


그림 16 Type CC건물의 단변주기

### 4.3 Infilled panel을 고려한 감소율 산정

Infilled panel을 고려한 감소율은 건물에 infilled panel을 첨가한 모델에서 산정한 고유주기와 infilled panel이 없는 고유주기의 비를 구하여 그것을 평균한 값으로 하였다.

$$SS = \frac{T_{w/o}}{T_w} \quad (3)$$

$$SSM = \frac{\sum_{i=1}^n SS}{n} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서,  $T_w$ 는 infilled panel 을 고려

한 건물의 고유주기,  $SS$ 는 고유주기비를 말하며,  $SSM$ 은 평균고유주기비(infilled panel을 고려한 감소율)를 말한다.

고유주기비의 평균은 type A, type B, type C 에서 장변인 경우 0.81, 0.78, 0.72로 나타났고 단변인 경우 0.92, 0.94, 0.71로 각각 나타났다. Type A의 고유주기비가 가장 크게 나타났고 type C의 고유주기비가 가장 작은 것으로 나타났는데 이는 평면의 배치상에서 발생하는 문제인 것으로 판단된다. 식 (3)을 이용하여 infilled panel 을 고려한 감소율을 구하면 다음과 같다.

장변의 감소율 :  $(0.81+0.78+0.72)/3=0.77$

단변의 감소율 :  $(0.92+0.94+0.71)/3=0.86$

여기서 산출된 감소율이 infilled panel에 의한 감소율이라고 하고 식(1)과 식(2)의 식에 감소율을 곱하면 다음과 같다.

장변주기식 :

$$T_w = (0.27H_h + 0.09H_i) / \sqrt{B} - 0.73 \quad (5)$$

단변주기식 :

$$T_w = (0.11H_h + 0.16H_i) / \sqrt{B} - 0.70 \quad (6)$$

여기서,  $H_h$ 는 상부 층의 높이(m),  $H_i$ 는 하부 층의 높이(m)를 말하며 B는 수평하중이 작용하는 방향과 평행한 면의 길이(m)를 말한다.

#### 4.4 구조부재만 고려한 고유주기의 감소율 산정

2.1절에서 살펴본 바와 같이 ATC-3-06에서의 감소율은 1/1.4(0.71)을 사용하였다. 따라서 이 값과 infilled panel로 인한 감소율(장변:0.77, 단변:0.86)을 곱하여 구한 값은 구조부재만 고려한 고유주기의 감소율이라고 할 수 있다. 감소율은 비구조부재를 고려하지 않음으로 인하여 발생하는 오차로서 고유치해석을 통한 고유주기값을 보정할 수 있는 계수로서 다음과 같이 산출된다.

$$SFS = 0.86 \times 0.71 = 0.61 \quad (7)$$

$$SFL = 0.77 \times 0.71 = 0.55 \quad (8)$$

여기서, SFL은 장변주기의 감소율을 말하며 SFS는 단변주기의 감소율을 말한다.

#### 4.5 적합한 고유주기산정식의 도출

적합한 고유주기산정식의 도출방법은 식 (1), 식 (2)에 4.4절에서 구한 감소율(SPL, SFS)을 구조부재만 고려한 고유주기산정식에 곱함으로써 구할 수 있다. 식 (7)과 식 (8)에서 산출한 값을 식 (1), 식 (2)에 곱한 고유주기산정식은 다음과 같다.

장변주기식 :

$$T_L = (0.20H_h + 0.05H_i) / \sqrt{B} - 0.42 \quad (9)$$

단변주기식 :

$$T_S = (0.07H_h + 0.12H_i) / \sqrt{B} - 0.40 \quad (10)$$

여기서,  $T_L$ 은 infilled panel을 고려한 장변의 고유주기이며,  $T_S$ 는 infilled panel을 고려한 단변의 고유주기를 말한다.

### 5. 타당성 평가

규준에 주어진 건축물의 고유주기 산정식은 실험에 의한 고유주기를 회귀분석하여 식을 만들고 이 식에 일정한 감소율(1/1.4)을 곱하여 산출된 식이다. 식 (1)과 식 (2)는 구조부재만을 고려한 구조물을 고유치해석하여 도출한 고유주기식과 동일 구조물에 infilled panel을 고려하여 동적해석을 한 데이터에서 도출한 감소율과 규준의 감소율을 곱하여 도출한 식이다. 따라서 규준에서 주어진 값과 같은 명확한 기준이 없기 때문에 타당성을 평가하는데 많은 어려움이 있다.

그러나 infilled panel을 고려한 구조물의 고유주기는 일반적으로 복합구조물의 주기가 강성이 큰 벽식구조물보다는 크게 나타날 것이며 골조구조물보다 작게 나타날 것을 예측할 수 있다. 따라서 하부구조의 infilled panel을 고려함으로 인한 벽식구조물의 고유주기와 비슷한 값이 될 것이라고 판단된다.

비교대상인 철근콘크리트 전단벽구조의 벽길 이 와 벽의 면적은 상부구조의 평면을 참고하였고 높이는 건물전체의 높이와 같다고 가정하여 전 단벽구조의 고유주기를 구했다. 골조구조의 높이도 벽구조와 마찬가지로 복합구조물의 높이와 같도록 가정하여 골조구조의 주기를 구하였다.

타당성 평가에 사용한 그림의 범례는 표 4와 같다.

#### 5.1 장변 방향 제안식의 타당성평가

그림 17과 그림 18에서 보는 바와 같이 대체적으로 장변의 경우 제안식이 전단벽구조물의 식보다

표 4 주기식 및 그림 17 - 그림 20의 범례

범례	설명
◆	Infilled panel을 고려한 구조물을 고유치해석한 고유주기
■	국내규준식에 의해 산정한 주기( $T=0.09 h_n/B$ )
—	제안식으로 구한 주기
▲	골조구조의 고유주기산정식으로 구한 주기( $T=0.0731 h_n^{0.75}$ )
●	철근콘크리트전단벽구조 주기산정식으로 구한 주기( $T=0.0743 (h_n)^{3/4} / \sqrt{A_c}$ )

\*  $A_c = \sum A_e [0.2 + (D_e/h_n)^2]$

$A_e$  : 1층에서 지진하중 방향에 평행한 전단벽의 면적(㎡)

$D_e$  : 1층에서 지진하중 방향에 평행한 전단벽의 길이(m)

긴 주기를 가지는 것으로 나타났고 골조구조보다 짧은 주기를 가지는 것으로 나타났다. 또한 제안식은 하부층(골조구조층)이 증가할수록 전단벽구조의 주기보다 작아지는 경향이 있으며 기타구조물(국내 규준)의 고유주기식에 가깝게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 상부층이 전단벽으로 구성되고 하부층에 비구조부재에 의한 효과를 고려함으로써 상하부층간의 강성차가 감소하였기 때문이다.

infilled panel을 고려한 구조물의 고유주기가 전단벽구조의 주기와 골조구조의 주기사이에 있었고 제안식 또한 두 구조물의 고유주기 사이에 있었다. 단면에서는 장변과는 달리 현재 사용하고 있는 고유주기산정식은 실제 고유주기보다 크게 보고 있는 것으로 나타났으며 기타구조물의 고유주기산정식보다 전단벽구조의 고유주기산정식이 복합구조물에는 적용가능한 것으로 판단된다.

5.2 단변주기 제안식의 타당성평가

그림 19와 20에서 보는 바와 같이 단면에서는

6. 결 론

장진 지역에서는 사용되지 않는 구조시스템

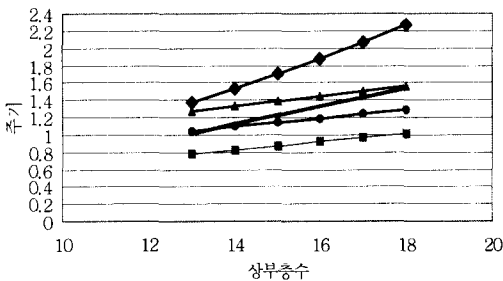


그림 17 Type A2 평면에 장변식적용

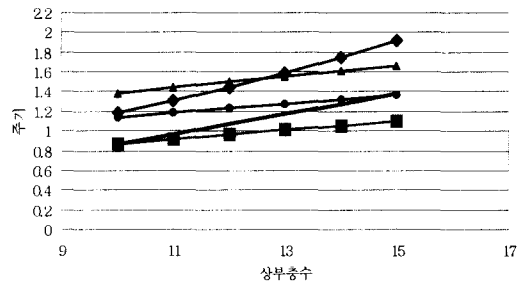


그림 18 Type A5 평면에 장변식적용

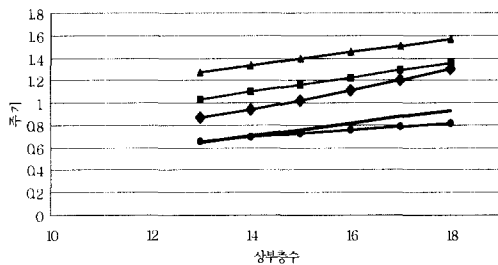


그림 19 Type A2 평면에 단변식적용

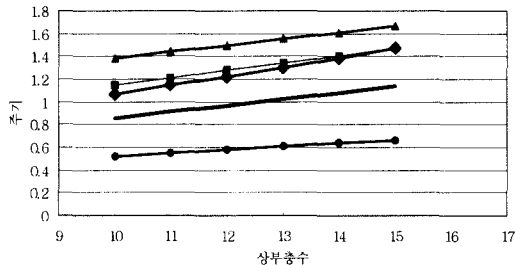


그림 20 Type A5 평면에 단변식적용

으로써 우리 나라에서 주로 사용하는 상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물은 서로 다른 2개 이상의 구조시스템으로 이루어진다. 상부와 하부의 강성차가 15배 정도이며, 상부구조와 하부구조를 연결하는 전이보를 기준으로 급격한 질량의 변화를 가진 구조물을 외국의 실험식에 의존한 기존식을 그대로 적용한다는 것은 많은 위험을 안고 있다. 기존에 건설된 구조물의 전형적인 평면을 하부층과 상부층의 층수를 다르게 한 70여 개의 건물을 대상으로 고유주기를 산출한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 현재에 국내에서 사용하고 있는 복합구조물의 고유주기산정식은 장변에서는 사용할 수 있으나 단변에서는 건물의 고유주기보다 크게 산정되어 밑면전단력이 저평가 될 수 있다.
- (2) 조적의 칸막이벽으로 한정된 비구조부재가 고유주기에 미치는 영향은 장변에서는 많은 영향이 있으나 단변에서는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. Infilled panel에 의한 주기의 감소율은 장변과 단변에서 각각 0.77 및 0.86으로 나타났다.
- (3) Infilled panel에 의한 고유주기의 감소를 고려한 감소율과 ATC-3-06에서 구한 감소율을 고려한 복합건물의 고유주기산정식을 다음과 같이 제안하였다.

장변주기식 :

$$T_L = (0.20H_h + 0.05H_i) / \sqrt{B} - 0.42$$

단변주기식 :

$$T_S = (0.07H_h + 0.12H_i) / \sqrt{B} - 0.40$$

상·하부의 구조가 다른 구조시스템을 가지는 복합구조물에 대한 강성차를 나타내는 변수는 국내규준에는 명시되어 있지 않으나 제안한 식에서는 상하부의 높이를 반영할 수 있기 때문에 현재의 규준보다 타당한 값이라 할 수 있다. 위에서 제안된 식은 전형적인 3가지 평면에 대한 상부층과 하부층의 강성비에 따른 변수를 대상으로 산정된 식이므로 어느 정도 한계는

있다. 3가지 평면을 대상으로 산정되었으므로 다른 평면을 사용할 경우 어느 정도의 오차가 발생할 수 있다. 또한 제안된 주기산출식들은 1971년 미국의 San Fernando에서 발생한 지진에 의하여 건물에서 측정된 자료를 근거로 하였으나 본 연구는 동적해석에 의존한 주기이다. 비록 비내력벽의 영향을 감소율이라는 개념으로 보정하였으나 향후 실험을 통한 보완이 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 최문성, 김희철, "하부골조-상부벽 층수에 따른 주상복합건물의 적정 반응수정계수에 관한 연구", 한국지진공학회논문집, 제4권, 제2호, 2000. 6.
2. 건설교통부, 복합구조(전단벽+골조)의 내진 설계기법 연구, 1999. 12.
3. 주택연구소, "벽식아파트 구조 고유주기산정식 제안", 대한주택공사, 1997.
4. 구조물의 지진피해 및 보수보강에 관한 연구회, 세계 주요국가 내진설계 기준 요약, 1997.
5. 대한주택공사, 초대형구조시스템 연구센터, "벽식구조 아파트 건물의 반응계수 검증에 관한 연구", 대한주택공사, 1998.
6. 한국지진공학회, 건축물의 내진설계, 한국지진공학회, 1998, pp. 115-269.
7. ATC(applied technology council), "A critical review of current approaches to earthquake-resistant design," ATC-34, 1995.
8. ATC(applied technology council), "Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings," ATC3-06, 1978.
9. ATC(applied technology council), "Structural response modification factors," ATC-19, 1995.
10. ACI 318-95, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI, 1995.
11. Federal Emergency Management Agency, *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA273, 1997.

12. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons. INC, 1992, pp. 1-94.
13. Rangan B. V. and Warner, R. F., *Large Concrete Buildings*, Longman Group Limited, 1996.
14. Macleod, I. A., *Analytical Modelling of Structural Systems*, Ellis Hollwood Limited, 1990.
15. Wu, J. and Hanson, R. D., "Study of inelastic spectra with high damping," *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 6, 1989. 6, pp. 1412-1431.
16. Miranda, E. and Bertero, V. V., "Evaluation of strength reduction factors for earthquake resistant design," *Earthquake Spectra*, EERI, Vol. 10, No. 2, 1994, pp. 357-379.
17. Newmark, N. M. and Hall, W. J., "Earthquake spectra and design," EERI, Berkeley, California, 1982.
18. Goel, R. K. and Chopra, A. K., "Period formulas for moment resisting frame building," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 1997. 11.
19. FEMA, "NEHRP commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation on the buildings (FEMA publication 274)," Building Seismic Safety Council, Washington D.C, 1997. 10, pp. 7-27-7-33.
20. Holm, M., "Steel frames with brickwork and concrete infilling," *Civil Engineers*, Vol. 19, 1961, pp. 437-478.
21. Smith, B. S. and Riddington, J. R., "The design of masonry infilled steel frames for bracing structures," *The Structural Engineer*, Vol. 56B, No. 1, 1978. 3, pp. 1-7.
22. Angel, R., Abrams, D. P., Shapiro, D., Uzarski, J., and Webster, M., "Behavior of reinforced concrete frames with masonry infills," *Structural Research Series*, UIIU-ENG-94-2005, University of Illinois, No. 589, 1994.