

상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물의
고유주기 산정에 관한 연구

A Study on the Natural Period Estimation for the Buildings
of Upper Wall and Lower Frame Type

박 기수¹⁾
Park, Ki-Su

김 회철²⁾
Kim, Hee-Cheul

ABSTRACT

The natural period calculation equations specified in the current building code are empirical formulas that depend on height and material type of the structure. Building with the upper wall and lower frame type is a unique structure which composed of two different structural system. This type of structure needs either the deep transfer girder or the thick transfer plate that brings the sudden change of stiffness and mass. Therefore, the natural period equations recommended by the current code can not be applied directly. In this study, the natural period of building with typical plan obtained by dynamic analysis is compared with that of various codes. And approximate estimation equation for the natural period of building with the upper wall and lower frame type obtained by regression analysis is recommended.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내의 내진설계규준은 대부분의 내용이 외국의 설계규준(ATC3-06,1978. UBC,1988 등)을 인용하고 있어 설계절차나 제반 설계계수들(Design Parameters)이 우리 나라의 실정과 맞지 않는 부분이 있다. 구조물의 내진설계를 수행함에 있어 가장 중요한 단계는 적절한 지진하중을 산정하는 것이다. 현행 건축법에 규정되어 있는 건물에 대한 고유주기 산정식은 ATC의 기준에 따른 것으로써, 1971년 발생한 San Fernando지진에 의해 실제 건물들이 진동한 기록을 근거로 제안한 실험식이다. 그러나, 복합구조물은 외국에서 그 사례를 거의 찾을 수 없는 형태이므로 고유주기를 예측함에 있어서 복합구조물의 특성과는 다른 비현실적인 경향을 나타낸다.

현재 우리 나라의 기준에 의하면 복합건물의 경우 수직적인 비정형으로 인하여 동적해석을 수행하여야 하나, 일반적으로 고유주기 산정에 있어 $T = 0.09 \cdot h_n / \sqrt{B}$ (그외의 구조물)를 사용하고 있다. 그러나 이 식은 경험에 의한 식으로써 건물의 강성이나 질량의 변화를 주기 산정식에 반영할 수 있는 보다 합리적인 변수의 사용이 요구된다. 따라서 본 연구의 목적은 복합구조물의 등가 정적 지진하중을 보다 정확하게 산정하기 위하여 중요한 변수로 사용되고 있는 고유주기의 산정식을 도출하는데 있다.

1) 경희대학교 건축공학과대학원 석사과정
2) 정회원, 경희대학교 토목건축공학부 부교수

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 실제 건설된 구조물 중 정형의 평면을 가진 건물로써, 10층~20층의 복합구조물을 그 대상으로 하였다. 고유주기는 건물의 강성과 질량의 식으로 이루어진다. 복합구조물은 상부구조와 하부구조의 강성이 다르고 질량의 분포가 상이하므로 그것을 반영하는 변수인 상부구조물의 높이, 하부구조물의 높이 그리고 밀면길이(B)를 매개변수로 하였다. 고유치해석 프로그램은 MIDAS-GEN을 사용하였다. 고유주기산정식을 도출하기 위하여 위에서 언급한 매개변수들의 값을 달리하여 고유치해석을 수행하였다. 회귀분석 프로그램은 SPSS 8.0을 사용하였다..

2. 기존건물에 대한 고유주기의 산정

2.1 각 국의 고유주기 산정식

정적해석 시 밀면전단력(V)은 지진지역계수(A), 중요도계수(I), 동적계수(C), 지반계수(S)를 곱하고 반응수정계수(R)로 나눈 값으로 표현되는 가속도와 건물의 전 중량의 곱으로 이루어진다. 이 중에서 건물의 구조형식과 관련된 계수는 동적계수와 반응수정계수이다. 고유주기는 동적계수의 제곱에 비례하는 값으로서 고유주기가 커지면 밀면전단력은 감소한다. 현재의 고유주기 산정식은 모든 구조물의 기본진동주기를 실제보다 짧게 산정하도록 하여 밀면전단력의 산정이 안전측이 되도록 하고 있다.

표 2.1 각국의 고유주기 산정식 비교

기준		철골모멘트골조	철근콘크리트모멘트골조	그 밖의 골조
국내기준		$T = 0.085 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.06 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.09 h_n / \sqrt{B}$
ATC3-06		$T = 0.0853 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.0731 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.091 h_n / \sqrt{B}$
UBC(1988)		$T = 0.0853 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.0731 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.091 h_n / \sqrt{B}$
UBC(1994)	방법A	$T = 0.0853 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.0731 \cdot h_n^{3/4}$	$T = 0.0488 h_n^{3/4}$
	방법B	$T_1 = 2\pi \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^N W_i u_i^2 / g}{\sum_{i=1}^N F_i u_i} \right]^{1/2}$		
NBCC(1990)		$T = 0.1 N$		$T = 0.091 h_n / \sqrt{B}$
BSLJ(1994)		$T = h_n \cdot (0.02 + 0.01\alpha)$		
		$T = 0.02 \cdot h_n$	$T = 0.03 \cdot h_n$.
NEHRP(1991)		$T = 0.085 h_n^{3/4}$	$T = 0.06 h_n^{3/4}$	$T = 0.091 h_n / \sqrt{B}$

* h_n : 건축물의 높이(m)

B : 고려되는 수평력과 평행한 구조물의 폭(m)

T : 구조물의 고유주기

2.2 복합구조물의 설계사례

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 기준으로 하부층(골조층), 상부층(내력벽층)의 층수 및 높이,

상부층과 하부층의 강성 및 층수, 상부층과 하부층의 층질량에 대하여 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*800이 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 따른 차이가 큰 것을 알 수 있었고 약 $4.5 \times 10^7 \text{ton/m}$ 를 가진다. 상부층 단변의 강성은 $1.6 \times 10^8 \text{ton/m}$ 로써 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 15, 단변 방향의 강성비는 약 20 정도로 나타났다. 전이보가 있는 층의 질량은 $1000 \text{ton/g}(g=\%)$, 하부층의 질량은 $400 \text{ton/g}(g=\%)$ 그리고 상부층의 질량은 $200 \text{ton/g}(g=\%)$ 정도로 나타났으며 전이보층이 하부층에 대한 질량비는 크게는 약 5배였으나 평균 2.8배로 나타났고, 상부층에 대한 질량비는 10배 이상도 있었으나 평균 4.7배로 나타났다.

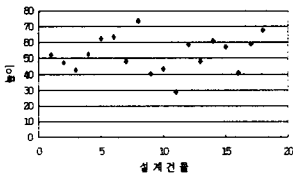


그림 2.1 건물의 높이

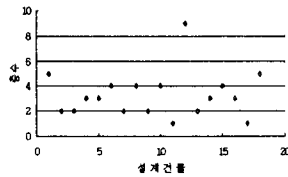


그림 2.2 하부층의 층수

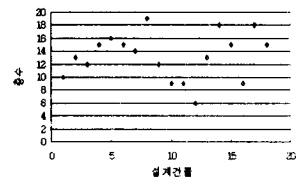


그림 2.3 상부층의 층수

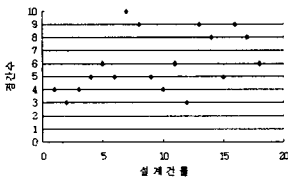


그림 2.4 전이보층의 장변 경간 수

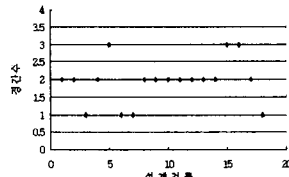


그림 2.5 전이보층의 단변 경간 수

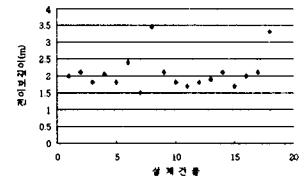


그림 2.6 전이보의 깊이

2.3 전산해석 모델

복합 구조물은 두 가지 이상의 구조형식을 가진 건물이므로 수직적인 비정형성이 매우 강한 건물이다. 비정형적인 건물은 규준에서 동적해석을 하도록 권장하고 있다. 그럼에도 불구하고 주

기의 약산식이 필요한 이유는, 간단하게 지진해석을 수행함으로써 설계의 편리성과 설계초기단계에서 구조물의 안전성을 확보할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 본 연구의 범위는 여러 가지 복합구조물의 평면형태 중 정형적인 장방형 평면을 가진 구조물, 상부구조와 하부구조의 평면길이가 같은 구조물, 장변과 단변의 비가 2정도의 건물로 한다.(그림2.7, 그림2.8, 그림2.9)

상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물의 고유주기를 산정하는 기존의 약산식을 살펴보면 건물의 높이와 지진하중이 작용하는 방향의 밀면에서의 건축물의 평면치수(B)를 매개변수로 하고 있다. 본 연구에서는 주기는 건물의 질량과 강성에 많은 영향을 받으므로 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 총 높이를 달리하여 총 120개 모델에 대한 고유치해석을 통하여 식을 도출한다.

경간수는 장변의 경우 4개, 단변의 경우 1~2개, 코아의 수는 1~2개, 건물의 층수는 10~20층, 하부층은 2~5개층, 상부층은 건물의 총 층수와 하부층의 층수에 따라 5~15개 층에 따른 조합으로 120개를 모델링을 하였다. 건물의 층고는 복합구조물의 설계 시 가장 많이 사용하는 4.5m(하부층), 2.8m(상부층)를 사용하였다.

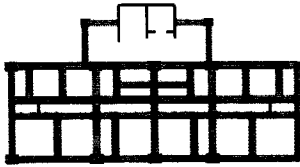


그림2.7 평면 type A

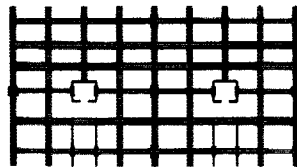


그림2.8 평면 type B

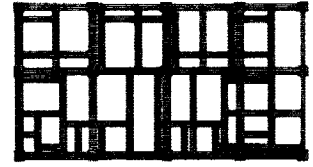


그림2.9 평면 type C

표 2.2 동적해석 모델

건물평면 type	층수	하부층수	장변경간수	단변경간수	장변길이	단변길이	기둥크기	보크기	전이보크기	벽두께	슬라브두께	코아
A	10~20	2~5	4	1	27600	15600	700*600 900*1300	500*600 600*700	600*2000 700*2000	180	200	1
B	10~20	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	10~20	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 그것이 고유주기에 미치는 영향은 5%정도로 작으므로 그것의 영향은 고려하지않았다.											

3. 고유주기의 분석 및 비교

3.1 고유치해석결과 분석

복합구조물의 평면을 상부·하부층수를 변화시키면서 고유치해석을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 범례에서 type A, B, C 뒤에 붙는 숫자는 하부층수를 나타낸다.

(1) 장변 방향의 고유주기

- 가) 하부2층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.6~2.1초, type B건물은 0.46~1.58초, type C건물은 0.45~1.47초로 나타났다.
- 나) 하부3층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.66~1.96초, type B건물은 0.52~1.47초, type C건물은 0.57~1.37초로 나타났다.
- 다) 하부4층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.81~1.88초, type B건물은 0.63~1.40초, type C건물은 0.72~1.32초로 나타났다.
- 라) 하부5층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.76~1.68초, type B건물은 0.76~1.37초, type C건물은 0.87~1.30초로 나타났다.

2) 단변 방향의 고유주기

- 가) 하부2층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.4~1초, type B건물은 0.35~0.76초, type C건물은 0.41~0.69초로 나타났다.
- 나) 하부3층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.51~1.08초, type B건물은 0.35~0.76초, type C건물은 0.46~0.77초로 나타났다.
- 다) 하부4층을 가질 때 type A의 건물은 상부층수의 증가에 따라 0.66~1.19초, type B건물은 0.60~0.94초, type C건물은 0.62~0.98초로 나타났다.
- 라) 하부5층을 가질 때 건물의 경우는 type A의 건물은 상부층의 증가에 따라 0.74~1.24초, type B건물은 0.74~1.1초, type C건물은 0.72~1.14초로 나타났다.

장변주기의 변화량보다 단변주기의 변화량이 작고, 3가지 type 중에서 type C가 변화량이 가장 작은 것으로 나타났다.

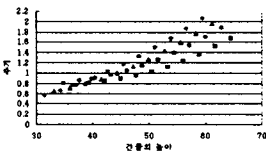


그림 2.10 type A건물의 높이에 따른 장변주기

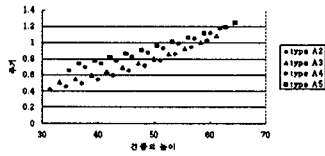


그림 2.11 type A건물의 높이에 따른 단변주기

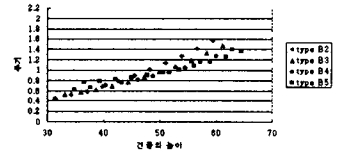


그림 2.12 type B건물의 높이에 따른 장변주기

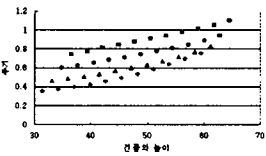


그림 2.13 type B건물의 높이에 따른 단변주기

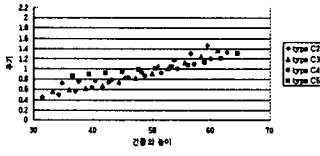


그림 2.14 type C건물의 높이에 따른 장변주기

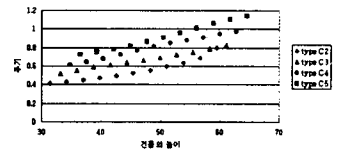


그림 2.15 type C건물의 높이에 따른 단변주기

장·단변방향의 고유주기비(장변고유주기/단변고유주기)는 1~2정도 나타났으며, 상부층수가 증가할수록 고유주기비는 증가하고, 하부층수가 증가할수록 고유주기비는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 type A와 type B는 그 경향이 비슷하게 나타났다.

다른 하부층을 가지는 type A건물의 상부층수의 증가에 따른 장변주기의 변화율과 단변주기의 변화율을 비교해 보면 장변주기의 변화율은 하부층수를 증가시킬수록 변화율의 기울기가 증가하는 것을 알 수 있고 단변주기의 변화율은 하부층을 증가시킬수록 변화율의 기울기가 완만하지만 감소하는 것으로 나타났다.

장변주기의 변화율이 증가하는 것으로써 고유주기에 강성보다 질량이 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 상부층의 높이가 하부층의 높이보다 고유주기에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나

타났다. 단변주기의 변화율이 감소하는 것으로써 고유주기에 질량보다 강성이 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 하부층의 높이가 상부층의 높이보다 고유주기에 더 큰 영향을 미친다.

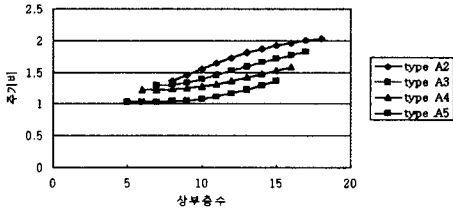


그림 2.16 type A건물의 장단변 주기비

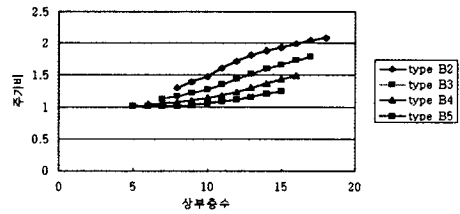


그림 2.17 type B건물의 장단변 주기비

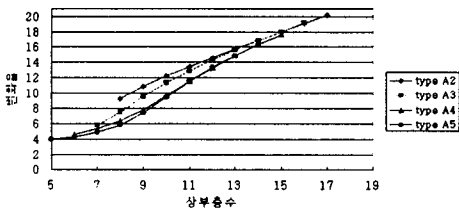


그림 2.18 상부층수의 증가에 따른 장변주기의 변화율

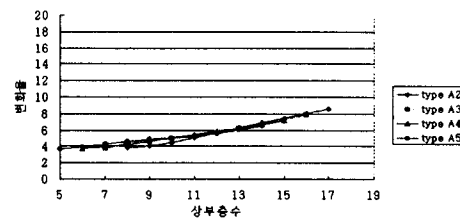


그림 2.19 상부층수의 증가에 따른 단변주기의 변화율

3.2 동적해석에 의한 주기와 국내규준의 고유주기식에 의한 주기

기존식의 적용에 있어 장변과 단변에 동일한 식을 적용하면 주상복합구조물의 강성분포에 따른 특징이 무시된다. 따라서 단변은 규준에서 기타 구조물의 식을 사용하고 장변은 철근 콘크리트 모멘트골조구조물에 적용식을 사용하였다. 이 방식은 국내에서 관습적으로 사용하는 방식이기도 하다. 비교대상 규준은 국내규준과 UBC94규준을 사용하였다.

동적해석에 의한 장단변 주기는 층수가 증가할수록 변화량은 증가하나 거의 선형적으로 변하는 것을 볼 수 있다. 특히 단변주기는 선형적인 증가의 특징을 확연히 보여주고 있다.

장변주기의 특징을 보면 type A3에서 동적해석에 의한 주기와 국내규준에 의해 산정된 주기, UBC94규준에 의해 산정된 주기를 비교하면 저층일 경우에는 동적해석과 거의 같은 값을 가지나 고층으로 갈수록 오차율이 커지는 것을 알 수 있다.(그림2.22, 그림2.24)

단변주기의 특징을 보면 type A에서 동적해석에 의한 주기가 규준에 의한 주기보다 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 일반적으로 동적해석에 의한 주기가 크게 나타나는 경향이 있는데 의외의 결과를 보였다. 단변방향으로 상부층 벽의 배치로 강성이 다른 구조물보다 크다는 것을 알 수 있었다.(그림 2.23, 그림2.25)

3.3 회귀분석을 통한 고유주기 산정식 도출

동적해석에 의한 장단변 방향의 주기는 선형적으로 변하므로 일차방정식으로 가정할 수 있다. 수평력이 작용하는 방향과 평행한 면의 길이(B), 상부높이(Hh) 그리고 하부높이(Hl)를 매개변수로 하고 주기(T)를 종속변수로 한 2원 1차방정식의 근사식의 유도가 가능하다. 회귀분석은 SPSS 8.0을 사용하였으며 본 해석에서 얻은 데이터의 상관분석을 통한 각각의 매개변수와 종속변수의 상관관계는 0.7~0.9로 나타났고 다른 변수들보다 큰 상관관계를 나타내었다. 장변과 단변을 하나의 식으로 나타내기 위해서는 강성의 분포를 표현할 수 있는 다른 변수가 필요하므로 장·단변에 각각 다른 식을 제안한다.

$$\text{장변주기식: } T = 0.19 * (Hh/\sqrt{B}) + 0.138 * (Hl/\sqrt{B}) - 0.45 \quad (2.1)$$

$$\text{단변주기식: } T = 0.064 * (Hh/\sqrt{B}) + 0.149 * (Hl/\sqrt{B}) - 0.311 \quad (2.2)$$

위 식에서 T = 고유주기, h_h = 상부층의 높이(m), h_l = 하부층의 높이(m), B = 수평하중이 작용하는 방향과 평행한 면의 길이(m)를 말한다.

동적해석을 통한 고유주기와 규준에 의한 고유주기 값은 40~50%의 오차를 나타내었으며 많게는 100%의 오차를 나타내고 있다. 그러나 새로운 예측식은 80%이상 10%이내의 오차가 발생하고 있으며 95%이상 20%이내의 오차가 발생하므로 기존의 예측식보다 훨씬 정확한 결과를 얻을 수 있다.

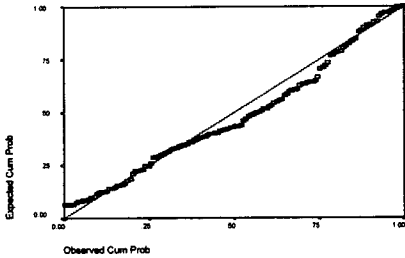


그림 2.20 장변주기의 회귀표준화 잔차의 정규 P-P도

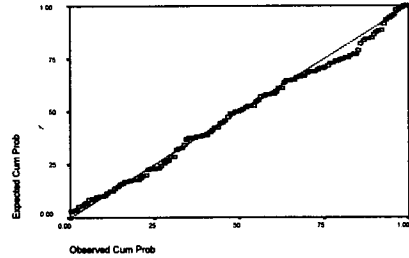


그림 2.21 단변주기의 회귀표준화 잔차의 정규 P-P도

그림 2.22~2.25는 동적해석, 등가정적해석과 관계식에 의해 산출된 기본진동주기를 나타낸 것이다. 기존의 산정식보다 제안식이 동적해석의 결과와 더욱 근사한 값을 가지며 장변주기식은 2차 방정식의 형태를 취하지만 1차의 식으로 20%의 오차를 가지는 값을 얻을 수 있으므로 1차의 식으로 구성되어도 현재 사용되고 있는 식에 비하여 정확도가 훨씬 높은 것을 알 수 있다.

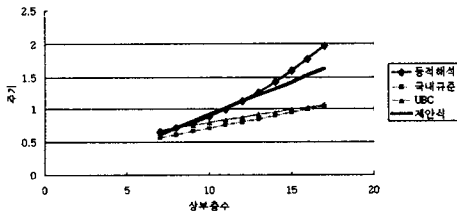


그림 2.22 type A3건물에 장변제안식 적용

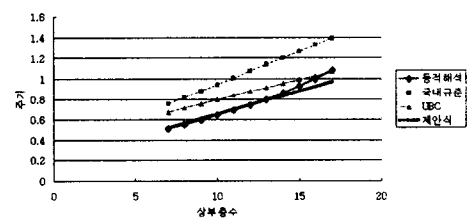


그림 2.23 type A3건물에 단변제안식 적용

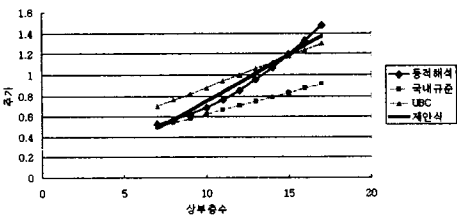


그림 2.24 type B건물에 장변제안식 적용

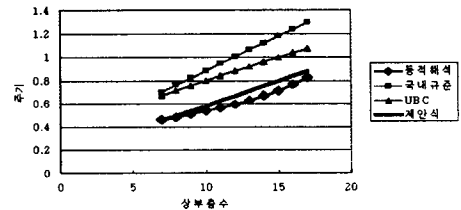


그림 2.25 type B건물의 단변제안식 적용

4. 결론

지진이 많이 일어나는 지역에서는 사용되지 않는 구조시스템으로써 우리나라에서 주로 사용하는 상부벽식-하부골조를 가진 복합구조물은 서로 다른 2개이상의 구조시스템으로 이루어진다. 상부와 하부의 강성차가 15배 정도이고 상부구조와 하부구조를 연결하는 전이보를 기준으로 급격한 질량의 변화를 가진 구조물에 대하여 기준에 제시된 약산식을 그대로 도입하는 것은 많은 위험을

안고 있다. 기존에 건설된 구조물의 정형적인 평면을 하부층과 상부층의 층수를 다르게 한 120개의 건물을 대상으로 고유주기를 구하고 국내규준에 의한 고유주기와 비교한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 국내의 규준은 복합구조물이 저층일 경우는 정확성을 가지나 고층으로 갈수록 동적해석의 결과와 70%~100%의 오차가 발생함을 알 수 있다. 주상복합구조물은 저층의 구조물보다 15층 이상의 고층의 구조물이 많으므로 설계 시 많은 오차를 가질 수 있는 가능성이 크다
- (2) 상·하부의 구조가 다른 구조시스템을 가지는 복합구조물에 대한 강성의 차를 나타내는 변수는 국내규준에는 명시되어있지 않으나 위에서 제안한 식에서는 상하부의 높이를 반영할 수 있으며 오차율도 20% 내외로써 매우 적합한 식으로 평가된다
- (3) 복합구조물의 장변방향은 상부구조높이와 하부구조높이가 고유주기에 미치는 영향은 비슷하고 단변방향은 상부구조높이보다 하부구조높이가 고유주기에 미치는 영향이 크게 나타났다.
- (4) 동적해석을 통한 자료를 분석하여 살펴본 결과 하부높이, 상부높이, 수평력이 작용하는 방향과 평행한 건물의 길이를 매개변수로 하고 고유주기를 종속변수로 하는 주기의 산출식은 다음과 같이 제안한다.

$$\text{장변주기식: } T = 0.19 * (H_h / \sqrt{B}) + 0.138 * (H_l / \sqrt{B}) - 0.45$$

$$\text{단변주기식: } T = 0.064 * (H_h / \sqrt{B}) + 0.149 * (H_l / \sqrt{B}) - 0.311$$

위에서 제안된 식은 정형적인 3가지 평면에 대한 상부층과 하부층의 강성비에 따른 변수를 대상으로 산정된 식이므로 어느 정도 한계는 있다. 평면이 정형적인 정방형이 아닌 L, C, □자 형의 비정형평면을 갖는 구조물은 기준에서 동적해석을 수행하도록 되어있으나 향후 광범위하게 적용하여 그 결과에 대한 검증은 수행할 예정이다. 또한 현재 제안된 주기에 대한 일차의 식을 향후 2차 방정식의 형태로 변환하여 보다 정확한 예측값을 가질 수 있도록 하는 연구가 계속적으로 수행될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 '98 건설기술연구개발사업의 지원에 의한 “복합구조(전단벽+골조)의 내진설계 기법연구”로서 건설교통부, 쌍용건설, 코오롱건설, 대한주택공사 및 형상구조 안전건설컨트리의 지원에 의한 연구의 일부입니다.

참고문헌

1. 권오경(1993), “이중골조구조물의 전단벽량 변화에 따른 진동주기 산정에 관한 연구,” 석사학위논문, 건국대학교.
2. 김상대(1992), “벽식구조물의 내진구조 해석,” 고려대학교 생산기술연구소.
3. 김명한, 정광량, 김상대(1992), “벽식구조물의 진동주기산정에 관한 연구,” 대한건축학회 학술발표논문집, 제 8권 1호, PP.161-169.
4. 금대하, 노필성, 김재웅(1994), “골조구조의 기본진동주기 산정을 위한 수계산법”, 대한건축학회 논문집, 제10권 10호, pp.185-192.
5. 주택연구소(1997), “ 벽식아파트구조 고유주기산정식 제안,” 대한주택공사
6. Rakexh K. Goel, Anil K. Chopra(1997), “Period Formulas For Moment-Resisting Frame Building,” Journal of Structural Engineering/November.
7. Williams, “Seismic design of Buildings and Bridges,” Registered Structural Engineer, California, 2nd edition, pp47-150.
8. Rakesh K. Goel and Anil K. Chopra(1997), “Period Formulas for Moment-Resisting Frame Building,” Journal of Structural Engineering, November, pp1454-1461.