

## 중저층 상부벽식 하부골조 구조의 고유주기 산정식에 관한 연구

유석형<sup>1\*</sup>

# Study on the Equation of Natural Period of Middle and Low Rise Building of Upper-Walled Lower Frame Type

Suk-Hyeong Yoo<sup>1\*</sup>

**Abstract:** According to the 「Guidelines of Structural Design for Piloti Building」 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2018), the natural period of middle and low rise building of upper-walled lower frame type, such as the domestic multiplex house in piloti style, is suggested for safety to apply the existing code formula of the wall structure. However, the current code formula of the wall structure was provided based on actual measurement of high-rise wall-type structures that mainly exhibit bending behavior. So it is considered that it is not suitable for a piloti-type house with four stories or less, where the wall behaves in shear. See also Park et al. (2000) confirmed that the effect of the lower frame part is greater than that of the upper wall part in the natural period of complex structures with 10 or more floors through analytical studies.

Therefore, in this study, in order to examine the effect of the lower frame on the natural period of the middle and low-rise piloti structure, the estimation of natural period by the finite element analysis, approximation formula and current code formula was performed for the target structures with the shear and flexural stiffness of the upper wall and the shear stiffness of the lower frame as variables. As result, it was found that the change in the shear stiffness of the lower frame had a greater effect on the natural period of the whole building than the change in the bending or shear stiffness of the upper wall.

**Keywords:** Upper-walled lower frame structure, Natural period formula, Shear stiffness of frame, Eigenvalue analysis, Finite element method

## 1. 서 론

2017년 포항 지진으로 인한 건축물의 피해는 주로 학교건물과 필로티형 다가구 주택에서 발생하였다.

필로티 건물은 지진 발생 시 연약 층인 1층에서 과도한 횡변위와 응력집중이 발생하여 붕괴에 이를 수 있는 근본적 취약점을 지니고 있다. 이와 같은 필로티 건물의 특성을 고려하여 특별지진하중의 적용, 비틀림 모멘트 증폭계수의 적용 및 필로티 층의 보-기둥 골조에 대한 내진상세 등 구조설계(건축구조기준 KBC, 2016)방안이 마련되어 있다. 그러나 포항지진의 경우 국내 소형주택의 품질관리제도가 미흡한 상황에서 구조설계 및 시공 소홀로 인하여 피해를 가중시킨 것으로 보고되었다(Oh et al., 2019).

국토교통부 (2018)에서는 「필로티 건축물 구조설계 가이드라인」을 통하여 필로티 건물의 구조설계 시 기존 건축구조

기준 (KBC, 2016)에서 제시하는 특별지진하중 및 내진상세의 적용과 더불어 지진 시 비틀림 거동을 줄이기 위하여 필로티 층에서 벽체의 최소 단면적 확보 및 배치 유형을 제시하고 있으며, 고유주기 산정식 및 반응수정계수 등의 내진설계 계수는 내력벽구조에 해당하는 값을 사용하도록 하고 있다.

일반적으로 두 가지 구조형식이 복합된 경우 내진설계 계수는 안전을 고려하여 두 가지 구조형식 중 지진에 불리한 구조형식의 내진설계 계수를 적용토록 하고 있는 바, 국토교통부(2018)의 「필로티 건축물 구조설계 가이드라인」에서는 국내 필로티 형식의 다세대 주택과 같이 중저층의 상부벽식 하부골조 구조를 이루고 있는 복합구조에 대하여 내진설계 계수를 지진에 불리한 상부 벽식구조에 해당하는 값을 적용하여 고유주기의 경우 건축구조기준 (KBC, 2016)에서 제시하는 식 (1)을 그리고 반응수정계수 4, 시스템초과강도계수 2.5 및 변위증폭계수는 4를 각각 적용하도록 제시하고 있다.

$$T_a = 0.049h_n^{3/4} \quad (1)$$

그러나, 현행 벽식구조의 고유주기 산정 기준식 (1)은 고층 아파트를 대상으로 수행된 연구(Chun et al., 1998)를 바탕으로

<sup>1</sup>정회원, 경상국립대학교 건축공학과 교수

\*Corresponding author: piter31@gnu.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, 33, Dongjin-ro, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 11월 30일까지 학회로 보내주시면 2021년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

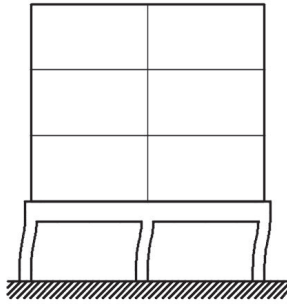


Fig. 1 Horizontal deformation of pilotis building

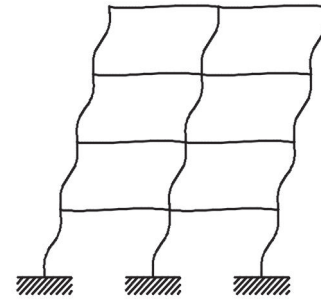


Fig. 2 Shear deformation of frame structure

제정된 것으로 주로 휨 거동하는 고층 벽식구조를 대상으로 한 실측 및 해석 결과를 통하여 제정된 것으로서 Fig. 1과 같이 국내 4층이하 필로티 형 다세대 주택의 경우 상부 벽체는 휨 변형 보다는 전단변형에 가까운 거동을 할 것으로 사료된다.

Park et al.(2000)은 10층 이상의 상부벽식-하부골조구조를 가진 복합구조물에 대하여 고유치 해석을 수행하고 장변방향 보다 단변방향의 고유주기에서 하부 골조구조의 영향이 상부 벽식구조보다 크게 작용하고 있음을 확인하였으나, Lee et al. (2018)은 필로티 건물의 상하층 강성비에 따라서 진동특성이 달라진다고 보고하였다. 그러므로 국내 4층이하 중저층 필로티 건물의 고유주기에 영향을 미치는 요인을 검토하기 위하여 별도의 연구가 필요할 것으로 판단 된다.

따라서 본 연구에서는 중저층 필로티 구조의 고유주기에 미치는 상부벽식구조와 하부골조의 영향을 비교 검토하기 위하여 상부 벽식구조의 전단 및 휨 강성과 하부 골조구조의 층 전단강성을 변수로 하는 대상 구조물들에 대하여 MIDAS를 이용한 고유치 해석과 기존 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식(Zalka, 2001) 그리고 「필로티 건축물 구조설계 가이드라인」에서 제시하고 있는 벽식구조의 고유주기 산정 기준식 (1)과 비교 검토함으로써 향후 중저층 상부벽식-하부골조 구조의 고유주기 산정식 수립을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 고유주기 산정 근사식

구조시스템의 근사해석 시 각각의 골조, 병렬전단벽, 전단벽에 대한 해석에 관하여 많은 방법들이 연구되어 왔지만, 이러한 각 구조 요소들이 하나의 구조시스템을 이루고 있는 복합구조에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 이는 복합구조시스템에서 각 요소들의 상호작용을 해석하는 것이 매우 복잡하기 때문이다. 하지만, 건축물의 형상 또는 특성강성(휨 강성, 전단강성)에 관하여 몇 가지 가정을 통하여, 건축물의 거동을 2차원 또는 3차원적으로 간단하게 해석할 수 있다.

Zalka(2001)는 휨 진동에 관한 고유진동수 산정 식에 전단 진동에 관한 수식을 대입함으로 전체 구조시스템에서 전단 강

성이 포함될 경우에 대하여 표와 간단한 수식으로 고유진동수를 산정하는 방법을 제안하고 있으며, Kim(2007)은 구조요소 변화에 따라 전체 구조시스템의 동특성에 영향을 미치는 강성 기여도를 새롭게 정의하고 이를 이용하여 슬래브의 강성을 고려한 전단벽-골조 구조의 고유주기 산정식을 제시하였다.

본 연구에서는 Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식을 활용하였다. 구조물의 거동은 골조의 전단거동과 전단벽의 휨 그리고 전단벽의 전단거동을 하는 것으로 각각 구분하여 고려하였으며, 높이에 따라 강성이 변화하지 않는 것으로 가정하였다. 또한 횡방향 진동만을 고려하였고 비틀림 영향은 배제하였다. 고유주기 산정 절차는 먼저 각 층의 강성을 결정하고 적합조건과 평형조건을 이용하여 지배 미분방정식을 구하고 이에 경계조건과 고유치 해석을 통하여 고유진동수를 산출하였다.

### 2.1 골조의 전단 진동

골조 구조의 전단변형은 Fig. 2와 같이 기둥과 보의 휨 변형의 조합으로서 나타내며, 골조 구조의 전단변형에 의한 구조물의 진동은 구조체의 전단강성과 관계가 있다. 골조 구조의 전단강성은 보 강성과, 각 층의 기둥 강성의 조합으로 나타내며 다음과 같다.

#### 2.1.1 보의 강성

$$K_{b,j} = \sum_1^{n-1} K_{b,i} = \sum_1^{n-1} \frac{12E_b I_{b,i}}{l_i h} \quad (2)$$

$j$  ; 구조시스템의  $j$ 번째 골조( $j = 1, \dots, f$ )

$i$  ;  $j$ 번째 골조의  $i$ 번째 보

$n$  ;  $j$ 번째 골조의 기둥 수

$E_b$  ; 보의 탄성계수

$I_{b,i}$  ;  $i$ 번째 보의 단면2차 모멘트

$l_i$  ;  $i$ 번째 보의 길이

$h$  ; 층고

### 2.1.2 기둥 강성

$$K_{c,j} = \sum_1^n K_{c,i} = \sum_1^n \frac{12E_c I_{c,i}}{h^2} \quad (3)$$

$E_c$ ; 기둥의 탄성계수

$I_{c,i}$ ;  $i$ 번째 기둥의 단면2차 모멘트

### 2.1.3 골조의 전단 강성

$$(GA)_{f,j} = \left( \frac{1}{K_{c,j}} + \frac{1}{K_{b,j}} \right)^{-1} \quad (4)$$

$(GA)_{f,j}$ ;  $j$ 번째 골조 구조물의 전단 강성

골조 구조의 전단 강성은  $j$ 번째 골조의 전단 강성인  $(GA)_{f,j}$ 의 합으로 식 (5)와 같다.

$$(GA)_f = \sum_1^f (GA)_{f,j} \quad (j=1,2,\dots,f) \quad (5)$$

### 2.1.4 고유진동수

골조 구조체 질량과 전단강성이 높이에 따라 균등하게 분포된 캔틸레버로 가정할 경우, 전단변형에 의한 고유진동수는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{fs} = \frac{\gamma_f}{4H} \sqrt{\frac{(GA)_f}{m}} \quad (6)$$

$m$ ; 구조물의 단위높이에 따른 질량 ( $kN/m$ )

$H$ ; 구조물의 높이

$\gamma_f$ ; 층 질량 집중을 고려한 감소계수 (Table 1 참조)

## 2.2 전단벽의 휨 진동

### 2.2.1 전단벽의 휨 강성

전단 벽의 휨 강성은 각 요소들의 휨 강성들의 합으로 식 (7)과 같다.

$$E_w I_w = E_w \sum_1^m I_{w,k} \quad (k=1,2,\dots,m) \quad (7)$$

$E_w I_{w,k}$ ;  $k$ 번째 전단 벽의 휨 강성

**Table 1** Reduction factor according to the story(n) (Zalka, 2001)

n	1	5	10	15	20	25	30	50
$\gamma_f$	0.493	0.842	0.911	0.938	0.952	0.961	0.967	0.980
n	>50							
$\gamma_f$	$\sqrt{n}/(n+2.06)$							

### 2.2.2 고유진동수

골조 구조체 질량과 휨강성이 높이에 따라 균등하게 분포된 캔틸레버로 가정할 경우, 휨변형에 의한 고유진동수는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{wf} = \left( \frac{1}{2\pi} \right) \left( \frac{l_i}{H^2} \right) \gamma_f \sqrt{\frac{E_w I_w}{m}} \quad (8)$$

## 2.3 전단벽의 전단 진동

### 2.3.1 전단벽의 전단강성

전단벽의 전단강성은 각 요소들의 전단강성의 합으로 식 (9)와 같다.

$$(GA)_w = \sum_1^m (GA)_{w,k} \quad (k=1,2,\dots,m) \quad (9)$$

$(GA)_{w,k}$ ;  $k$ 번째 전단 벽의 전단 강성

$G$ ; 벽체 전단탄성계수

$A$ ; 벽체 단면적

### 2.3.2 고유진동수

골조 구조체 질량과 휨강성이 높이에 따라 균등하게 분포된 캔틸레버로 가정할 경우, 전단변형에 의한 고유진동수는 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{ws} = \frac{\gamma_f}{4H} \sqrt{\frac{(GA)_w}{m}} \quad (10)$$

## 2.4 지배 미분방정식

구조물의 고유진동수를 구하기 위하여 구조물의 휨강성 ( $EI$ )과 전단강성( $GA$ )으로 식 (11)과 같은 지배미분방정식을 구할 수 있다(Amiya, 1982). 식 (11)의 지배미분방정식에 각각의 경계조건을 대입하면 고유치를 구할 수 있으며, 고유치에 따라 구조물의 고유진동수 및 주기를 구할 수 있다.

$$\frac{d^4 Y}{dX^4} - \psi_c^2 \frac{d^2 Y}{dX^2} - \Omega Y = 0 \quad (11)$$

$$X = x/H$$

$$\psi_c^2 = H^2 K_c / EI, \quad \Omega = m \omega^2 H^4 / \gamma_f^2 EI$$

$x$ ; 구조물의 임의의 높이

$H$ ; 구조물 전체 높이

$Y$ ; 횡변위

$K_c$ ; 유효전단강성

$\omega$ ; 고유진동수

경계조건 ;

$$Y(0) = 0 \quad (12a)$$

$$\frac{dY}{dX}(0) = 0 \quad (12b)$$

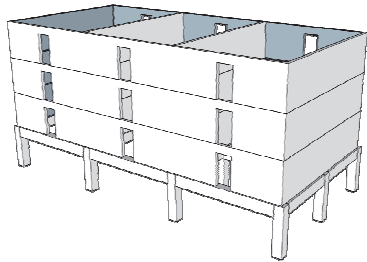
$$\frac{d^2 Y}{dX^2}(1) = 0 \quad (13a)$$

$$\frac{d^3 Y}{dX^3}(1) - \psi_c^2 \frac{dY}{dX}(1) = 0 \quad (13b)$$

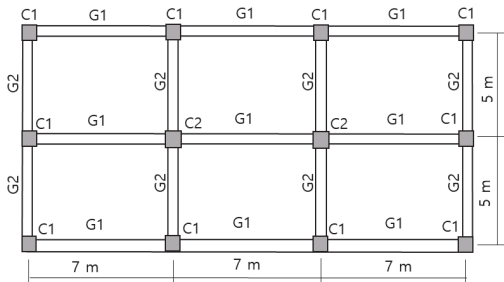
### 3. 해석적 연구

#### 3.1 대상 구조물

대상 구조물은 Fig. 3과 같이 장변반향으로 7m 간격 3경간, 단변방향으로 5m 간격 2경간의 4층(지상층 포함) 필로티 건물이다. 일반적으로 국내 필로티 다세대 주택은 1층 계단실의 비대칭 배치로 인하여 비틀림 거동이 발생하고 있으나 본 연구에서는 먼저 수직비정형성에 의한 고유주기특성을 파악하기 위하여 1층 계단실을 제외 시키고 모든 부재를 양방향 각각 대칭으로 계획하였으며, 단변방향에 대하여 고유주기를 관찰하였다. 2층강성에 대한 1층강성의 층강성비는 4%로 하였고, 층고는 1층 3m 그리고 2, 3, 4층은 각각 2.5m로 계획하였



(a) Perspective View of Pilotis Building



(b) 1st Floor of Pilotis Building

Fig. 3 Pilotis building for numerical analysis

Table 2 Section properties of standard structure

Member Size	B X H (mm)				W (mm)
	G1	G2	C1	C2	
Member Size	500×700	450×650	550×550	600×600	200

으며, 각 부재의 크기는 Table 2와 같다.

해석적 연구를 위한 변수는 하부골조의 전단거동의 영향을 검토하기 위한 보와 기둥의 휨강성( $E_c I_c, E_c I_c$ ), 상부벽체의 휨거동의 영향을 검토하기 위한 벽체 휨강성( $E_w I_w$ ), 그리고 상부벽체의 전단거동의 영향을 검토하기 위한 벽체 전단강성( $G_w A_w$ )을 선정 하였으며, Fig. 3의 기준 모델에서 각각의 강성을 5%와 10%씩 증가 또는 감소시키면서 MIDAS Gen을 이용한 고유치 해석과 Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식을 이용하여 고유주기를 산출 비교 하였다.

MIDAS Gen을 활용한 고유치 해석은 상부벽식-하부골조의 복합구조물의 모델링이 가능하므로 상부 벽체의 강성변화 시 하부골조의 강성을 일정하게 유지하고 하부 골조의 강성변화 시 상부 벽체의 강성을 일정하게 유지하였다. 그러나 Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식은 수직적으로 동일한 구조형식에 대하여 적용 가능하므로 먼저 식 (6), (9) 및 (11)을 이용하여 고유진동수를 구한 후 식 (15), (16) 및 (17)과 같이 상하 구조의 높이의 비로 가중치를 고려하여 합산하였다.

#### 3.2 근사식

상부벽식-하부골조구조에서 전체구조물의 고유주기에 영향을 미치는 요소를 이론적으로 검토하기 위하여 Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식을 활용하였으며, 기준 대상 구조물은 Fig. 3 및 Table 2와 같다.

하부골조의 층 전단강성 변화(FS 시리즈)가 전체구조물의 고유주기에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 Table 3과 같이 하부골조의 보와 기둥의 폭을 기준모델의 부재 폭과 비교하여 각각 5%와 10%씩 증가 또는 감소시켰다. 이로써 각 부재의 단면 2차모멘트를 동일한 비율로 증, 감 시킴으로써 최종적으로 하부골조의 전단강성을 동일한 비율로 조절할 수 있었다. 이때 건물전체의 질량은 일정하게 유지하였다.

상부벽체의 휨강성변화(WF 시리즈)가 전체구조물의 고유주기에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 Table 4와 같이 벽두께를 기준건물에 대하여 각각 5%와 10%씩 증가 또는 감소시켜서 산출하였으며, 이때 건물 전체의 질량은 일정하게 유지

Table 3 Section properties of lower frame

	B×H (mm)			
	G1	G2	C1	C2
FS-10	450×700	405×650	495×550	540×600
FS-5	475×700	428×650	523×550	570×600
FS	500×700	450×650	550×550	600×600
FS+5	525×700	473×650	578×550	630×600
FS+10	550×700	495×650	605×550	660×600

하였다. 또한 상부벽체의 전단강성변화(WS 시리즈)가 전체 구조물의 고유주기에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 Table 4와 같이 벽체 단면적을 기준건물에 대하여 각각 5%와 10%씩 증가 또는 감소시켜서 산출하였으며, 이때 건물 전체의 질량은 일정하게 유지하였다.

Zalka(2001)의 고유주기 산정 근사식은 부재의 단면조건, 재질 및 질량을 별도로 직접 고려할 수 있으므로 단면 2차모멘트나 단면적 등 단면조건을 이용한 강성 변화 시 질량은 별도로 일정하게 유지함으로써 질량의 변화가 고유주기에 미치는 영향을 제외시킬 수 있었다. 수직적으로 동일한 구조형식을 갖는 구조물의 고유진동수 산출 근사식 (6), (8) 및 (10)에 의한 고유주기 산출 결과는 Table 5와 같다.

Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식은 전체건물의 구조가 수직적으로 일정한 것으로 가정하여 도출된 식으로서 Fig. 3과 같이 상부벽식-하부골조를 이루고 있는 본 연구의 대상구조에 직접 적용하기에는 적합하지 않은 것으로

판단된다. 한편, 수직적으로 다른 복합구조에 적용할 수 있는 고유주기 산정식에 관한 연구가 미흡한 현황에서 Park et al. (2000)은 상부벽식-하부골조를 갖는 복합구조에 대하여 각 부분의 높이에 대한 일차식의 합으로서 복합구조의 고유주기가 산정식을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 식 (14), (15) 및 (16)과 같이 Zalka(2001)의 연구에서 제시한 근사식으로 각 구조의 고유주기를 구한 후 높이의 가중치를 고려함으로써 복합구조의 고유주기를 산정하였다.

$$T'_{fs,i} = T'_{fs,i} \times \alpha + T'_{ws} \times \beta \quad (14)$$

$$T'_{wf,i} = T'_{wf,i} \times \alpha + T'_{fs} \times \beta \quad (15)$$

$$T'_{ws,i} = T'_{ws,i} \times \alpha + T'_{fs} \times \beta \quad (16)$$

여기서,  $\alpha = h_f/H$ ,  $\beta = h_w/H$

$T'_{fs,i}$ ,  $T'_{wf,i}$  및  $T'_{ws,i}$ 는 각각 하부골조의 전단강성 변화(상부벽체 전단거동 일정), 상부벽체의 휨 및 전단강성 변화(하부골조 전단강성 일정)에 따른 복합구조의 고유주기를 의미한다. 상부벽체는 형상비(높이/길이)가 1보다 작아 휨 거동 보다는 전단거동을 할 것으로 예상하여 하부골조의 전단강성 변화 시 상부벽체는 전단거동을 하는 것으로 가정하였다.  $T'_{fs,i}$ ,  $T'_{wf,i}$  및  $T'_{ws,i}$ 는 전 층이 동일하게  $i$ 번째 강성을 갖는 진동수 산정식 (6), (8) 및 (10)에 의하여 산출된 고유주기를 의미하며,  $T'_{ws}$ 는 전단거동하는 기준벽체의 고유주기를  $T'_{fs}$ 는 전단거동하는 기준골조의 고유주기를 의미한다. 또한,  $h_f$ 와  $h_w$ 는 각각 골조와 벽체의 높이를 의미한다. 식 (14), (15) 및 (16)에 의한 복합구조의 고유주기 산출 결과는 Table 6과 같다.

**Table 4** Section properties of upper wall

	Thickness (mm)		Area (x10 <sup>5</sup> , mm <sup>2</sup> )
WF-10	180	WS-10	1.8
WF-5	190	WS-5	1.9
WF	200	WS	2
WF+5	210	WS+5	2.1
WF+10	220	WS+10	2.2

**Table 5** Natural periods of vertically constant building by approximate equation

	Period (s)		Period (s)		Period (s)
FS-10	0.01583	WF-10	0.01209	WS-10	0.00099
FS-5	0.01556	WF-5	0.01177	WS-5	0.00097
FS	0.01533	WF	0.01147	WS	0.00096
FS+5	0.01512	WF+5	0.01121	WS+5	0.00094
FS+10	0.01493	WF+10	0.01094	WS+10	0.00093

**Table 6** Natural periods of pilotis building by approximate equation

	Period (s)		Period (s)		Period (s)
FS-10	0.00527	WF-10	0.01303	WS-10	0.00515
FS-5	0.00519	WF-5	0.01281	WS-5	0.00514
FS	0.00513	WF	0.01259	WS	0.00513
FS+5	0.00506	WF+5	0.01239	WS+5	0.00512
FS+10	0.00501	WF+10	0.01221	WS+10	0.00511

### 3.3 유한요소 해석

상부벽식-하부골조구조에서 전체구조물의 고유주기에 영향을 미치는 요소를 유한요소해석 상에서 검토하기 위하여 MIDAS GEN을 이용한 고유치 해석을 수행하였으며, 기준 대상 구조물은 Fig. 3 및 Table 2와 같다.

유한요소 해석에서 상부벽체와 하부골조의 강성의 변화는 탄성계수(E)와 전단탄성계수(G)등 재질의 특성을 조절하여 모델을 구성하였다. MIDAS GEN에서는 단면2차 모멘트나 단면적 등 단면조건을 이용하여 강성을 변화시킬 경우 질량의 변화를 수반하게 되며 이러한 질량의 변화는 고유주기값에 영향을 미치게 되므로 Table 7과 같이 재질의 특성을 이용하여 강성을 조절하였다. 하부골조의 층 전단강성(FS 시리즈)과 상부벽체의 휨강성변화(WF 시리즈)는 해당 부재의 탄성

**Table 7** Material properties of pilotis building

	E (x10 <sup>7</sup> , kN/m <sup>2</sup> )		G* (ν) (x10 <sup>7</sup> , kN/m <sup>2</sup> )
FS-10	2.2181	WS-10	0.8551(0.297)
WF-10			
FS-5	2.3413	WS-5	0.9533(0.228)
WF-5			
FS	2.4645	WS	1.0559(0.167)
WF			
FS+5	2.5877	WS+5	1.1646(0.111)
WF+5			
FS+10	2.7110	WS+10	1.2778(0.061)
WF+10			

$$* G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

**Table 8** Natural periods of pilotis building by finite element method

	Period (s)		Period (s)		Period (s)
FS-10	0.1931	WF-10	0.1715	WS-10	0.1595
FS-5	0.1765	WF-5	0.1671	WS-5	0.1609
FS	0.1624	WF	0.1624	WS	0.1624
FS+5	0.1503	WF+5	0.1588	WS+5	0.1639
FS+10	0.1398	WF+10	0.1552	WS+10	0.1653

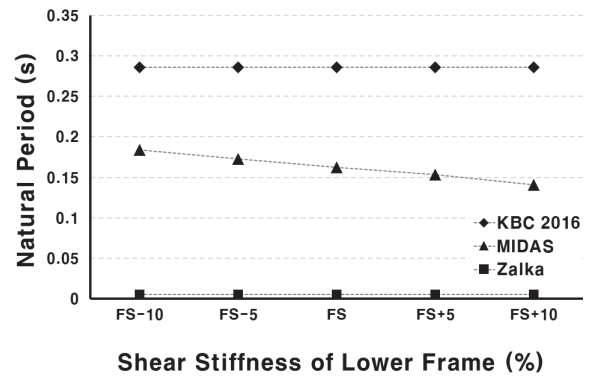
계수(E)를 기준건물에 대하여 각각 5%와 10%씩 증가 또는 감소시켜서 적용하였으며, 상부벽체의 전단강성변화(WS 시리즈)는 해당부재의 전단탄성계수(G)를 기준건물에 대하여 각각 5%와 10%씩 증가 또는 감소시켜서 적용하였다. 재료의 특성을 이용하여 강성을 변화시킨 영역 이외 나머지 부재의 재질은 일정하게 유지 하였다.

하부골조 전단강성, 상부벽체 휨 및 상부벽체 전단강성 변화에 따른 필로티 건물의 고유주기에 대한 유한요소 고유치 해석 결과는 Table 8과 같다.

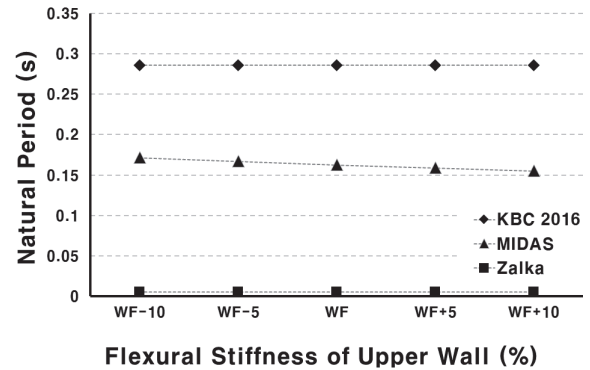
### 3.4 주기식 비교

하부골조의 전단강성, 상부벽체의 휨 및 전단강성 변화에 따른 필로티 건물의 고유주기 변화를 Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식과 MIDAS GEN을 이용한 고유치 해석 및 건축구조기준 2016의 기준식에 의하여 산출하고 결과를 Fig. 4(a), (b) 및 (c)와 같이 비교하였다.

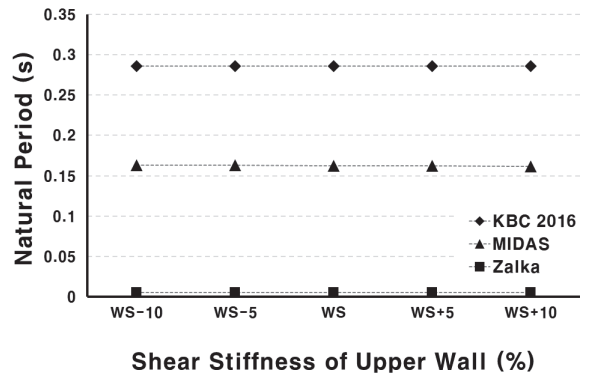
전체적으로 기준식에 의하여 산출된 고유주기가 MIDAS를 이용한 유한요소해석 또는 기존 연구의 근사식에 의하여



(a) Natural period according to shear stiffness of lower frame



(b) Natural period according to flexural stiffness of upper wall

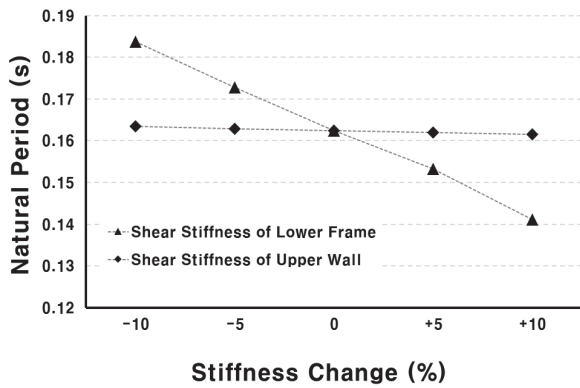


(c) Natural period according to shear stiffness of upper wall

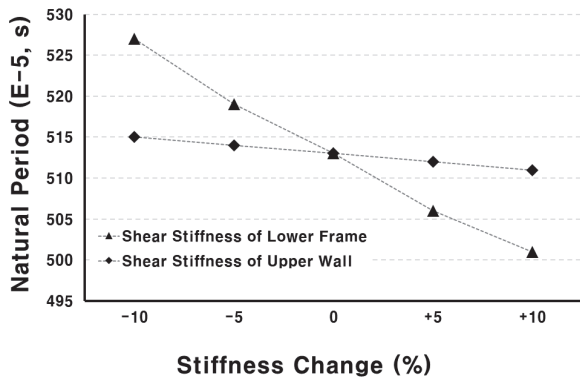
**Fig. 4** Natural period according to stiffness change

산출한 고유주기보다 크게 산출되었다. 이는 실구조물의 진동측정 신호로부터 도출된 기준식과 달리 유한요소해석 및 근사식 등 이론적 해석에서는 균열에 의한 강성의 저하를 고려하지 않아 강성은 크게 고려되었고, 고정하중 중에서 마감하중의 질량참여를 고려하지 않아 질량은 작게 고려하여 전체 건물의 고유주기가 작게 산출되었기 때문인 것으로 사료된다.

강성변화에 따른 고유주기의 변화의 크기는 Fig. 4(a), (b) 및 (c)에서 나타난 바와 같이 고유주기 산정 방식별로 유한요소 해석에서 가장 크게 나타나고, 근사식에서는 미세한 변화



(a) Finite element method (MIDAS)



(b) Approximate equation (Zalka)

Fig. 5 Natural period change according to estimate method

를 그리고 기준식에서는 변화가 나타나지 않았다. 그러나 강성변화에 따른 고유주기 변화의 경향은 유한요소 해석의 Fig. 5(a)와 근사식의 Fig. 5(b)에서 나타난 바와 같이 유사한 경향을 나타내었다. 기준식에서는 구조형식별로 계수를 달리하고 높이를 변수로 고려하므로 강성의 변화에 따른 고유주기 변화는 나타나지 않았다.

MIDAS Gen의 유한요소 해석을 통한 고유치 해석결과를 나타내는 Fig. 5(a)를 보면 상부 벽체의 강성을 일정하게 유지하고 하부골조의 전단강성을 변화시킨 경우가 하부골조의 전단강성을 일정하게 유지하고 상부벽체 전단강성을 변화시킨 경우보다 더 큰 고유주기 변화를 나타내었다.

Zalka(2001)의 연구에서 제시한 고유주기 산정 근사식(14), (15) 및 (16)을 이용하여 산출한 고유주기 결과를 나타내는 Fig. 5(b)를 보면 MIDAS Gen의 유한요소 해석과 유사하게 상부벽체 전단강성을 일정하게 유지하고 하부골조 전단강성을 변화시킨 경우가 하부골조 전단강성을 일정하게 유지하고 상부벽체 전단강성을 변화시키 경우보다 더 큰 고유주기의 변화를 나타내었다.

이는 상부벽식-하부골조 구조를 갖는 복합구조에서 상부

벽체보다는 하부골조의 강성이 전체 구조물의 고유주기에 더 큰 영향을 주었기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 국내 중저층 필로티 건물과 같은 복합구조의 고유주기 산정은 기존의 단일형식의 구조를 위한 고유주기 산정식 중에서 단순히 안전율만을 고려하여 선택하기 보다는 복합구조의 고유주기에 지배적인 영향을 미치는 요인을 고려한 새로운 고유주기 산정식에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

## 4. 결론

- 1) 중저층 상부벽식-하부골조를 갖는 복합구조의 고유주기에 지배적인 영향을 미치는 요인을 관찰하기 위하여 하부골조 전단강성, 상부벽체 휨 및 전단강성을 변수로 하는 필로티 건물에 대한 유한요소 해석, 기존연구의 근사식 및 현행 기준식을 이용한 고유주기 산출결과를 비교 검토하였다.
- 2) 강성변화에 따른 고유주기의 변화는 유한요소 모델의 고유치해석이 기존연구에 의한 근사식보다 크게 나타났으며, 현행 기준식에서는 강성의 변화에 따른 고유주기 변화를 고려하지 않고 있다.
- 3) 하부골조의 전단강성변화가 상부벽체의 휨 또는 전단강성의 변화보다 건물 전체의 고유주기에 더 큰 영향을 주는 것으로 유한요소해석 및 근사식을 통하여 확인하였다.
- 4) 향후 국내 중저층 필로티 건물의 효율적인 내진설계를 위하여 새로운 고유주기 산정식에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

1. Oh, S. H., Kim, J. C., and Shin, S. H. (2019), Damage Investigation of Pilotis Structures and Analysis of Damage Causes by Pohang Earthquake, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 35(3), 3-10.
2. Chun, Y. S., Cho, S. H., Kim, D. Y., and Lee, L. H. (1995), Approximate Estimate of Natural Periods for Residential Buildings having Wall-Slab Configurations, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 11(8), 211-219.
3. Chun, Y. S., and Lee, L. H. (1998), Fundamental Periods of Vibrations in Apartment Building Structures, *Journal of the*

- Architectural Institute of Korea*, 14(3), 309-317.
4. Chun, Y. S., Yoo, S. H., and Lee, L. H. (1998), Experimental Formula to Determine the Natural Period of Wall-slab Apartment Building Structures, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 14(4), 281-290.
  5. Park, K. S., Kim, H. C., and Kim, J. H. (2000), Natural Period Estimation for the Buildings of Upper Wall and Lower Frame Type, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 4(4), 1-14.
  6. Zalka, K. A. (2001), A Simplified Method for Calculation of the Natural Frequencies of Wall-frame Buildings, *Engineering Structures*, 23(12), 1544-1555.
  7. Kim, H., Yoo, S. H., and Shin, S. W. (2007), A Simplified Method for Calculation of the Natural Frequencies Using the Stiffness Contribution Degree, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 23(7), 3-10.
  8. Stafford, S. B., and Elizabeth, C. (1986), Estimating Periods of Vibration of Tall Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 112(5), 1005-1019.
  9. Basu, A. K., Ashok, K. N., and Ashwani K. N. (1982), Dynamic Characteristics of Frame-Wall Systems, *ASCE*, ST6, 1201-1218.
  10. Guidelines of Structural Design for Piloti Building, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2018).
  11. Korean Building Code, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2016).
  12. Moon, E. C., Baek, E. R., and Lee, S. H. (2018), Influence of Inter-story Strength and Stiffness Ratios on the Seismic Performance of RC Pilotis Type Building, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 30(6), 633-640.

Received : 07/14/2021

Revised : 08/27/2021

Accepted : 09/27/2021

---

**요 지 :** 국토교통부(2018)의 「필로티 건축물 구조설계 가이드라인」에서는 국내 필로티 형식의 다세대 주택과 같이 중저층의 상부벽식 하부 골조구조를 이루고 있는 복합구조의 고유주기를 안전성을 고려하여 상부 벽식구조에 해당하는 식을 적용하도록 제시하고 있다. 그러나 현행 벽식구조의 고유주기 산정 기준식은 주로 휨 거동하는 고층 벽식구조를 대상으로 한 실측 결과를 통하여 제정된 것으로서 벽체가 전단거동을 하는 국내 4층이하 필로티형 다세대 주택에는 적합하지 않을 것으로 사료되며, 또한, Park et al. (2000)은 해석적 연구를 통하여 10층 이상의 복합구조물의 고유주기에서 하부 골조구조의 영향이 상부 벽식구조보다 크게 작용하고 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 중저층 필로티 구조의 고유주기에 미치는 하부골조의 영향을 검토하기 위하여 상부 벽식구조의 전단 및 휨 강성과 하부 골조구조의 전단강성을 변수로 하는 대상 구조물들에 대하여 유한요소 모델을 이용한 고유치 해석과 고유주기 산정 근사식 그리고 현행 고유주기 산정 기준식을 이용하여 고유주기를 산출하고 비교하였다. 비교결과 하부골조의 전단강성변화가 상부벽체의 휨 또는 전단강성의 변화보다 건물 전체의 고유주기에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 상부벽식-하부골조 구조, 고유주기 산정식, 골조의 전단강성, 고유치 해석, 유한요소법

---