

웹벽체의 형상비가 T형벽체의 플랜지 유효폭에 미치는 영향

Effect of the Web Wall's Aspect Ratio to the Effective Flange Width of T-Shaped Wall

강 인 석* 천 영 수** 윤 영 호*** 양 지 수****
Kang, In-Seok Chun, Young-Soo Yoon, Young-Ho Yang, Ji-Soo

Abstract

This paper deals with the effect of the web wall's aspect ratio to the effective flange width of the T-shaped wall. In this study, the non-linear FEM analysis has been conducted in a parametric way, by varying height of the wall, length of the web wall, thickness of the flange wall and aspect ratio of the T-shaped wall. The results of the analysis clearly indicate that the most influential variable on the effective width is the web wall's aspect ratio and most of existing formulae to compute the effective flange width of the T-shaped wall based on a specified variable are not effective, since these formulae do not consider the web wall's aspect ratio.

Based on the results of FEM analyses, the method to compute the effective width of the flange wall is suggested, and the validity of the proposed method is confirmed.

키워드 : 유효폭, 형상비, 유한요소법, RC구조물전용해석시스템
Keywords : Effective width, Aspect ratio, FEM, Total-RC

1. 연구 배경 및 목적

연간 50만호에 달하는 방대한 물량으로 국내의 주택건설을 대표해 온 아파트 건물은 벽식구조라는 국내 특유의 구조방식을 채택하고 있다. 벽식구조는 바닥슬래브와 벽체만으로 구성된 일종의 플랫 플레이트 구조로서, 철근콘크리트 벽체는 지진과 같은 수평하중에 대한 저항성과 전체 구조 시스템의 비탄성 변형에 대응하는 변형능력을 확보할 수 있도록 설계되고 있다.

벽식구조 시스템에서 상기 요구조건에 따른 벽체의 현행 설계방식은 건물의 장·단변 방향으로 작용하는 수평하중에 대하여 각각의 하중방향과 평행하게 배치된 벽체가 이를 모두 부담하는 것으로 가정하고 있다. 따라서, 벽체는 하중의 작용방향과 평행하게 배치된 장방향의 단일벽체로 가정하고, 단부를 보강하거나 벽체의 단부면적을 확대하여 기둥과 같이 보강하는(바벨형) 방식의 설계가 주류를 이루어 왔다. 그러나, 벽식구조 시스템에서 벽체는 직교하는 두 주축 방향에 대한 건축 계획적 측면 및 구조적 필요성으로 인하여 필연적으로 교차하는 형태

를 취하게 되며, 그로 인해 L형, T형, 그리고 ㄷ(Channel) 형과 같은 다양한 형태의 이형벽체로 평면상에 존재하게 된다(그림 1참조).

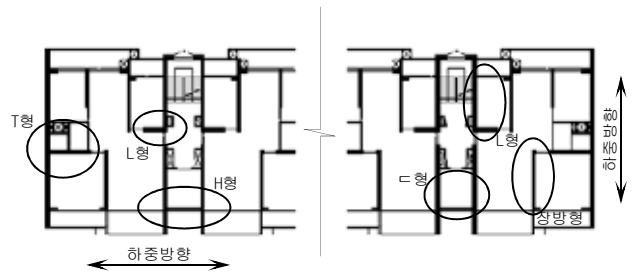


그림1. 일반적인 아파트의 기준층 평면도

이 중, 특히 평면상에 주류를 이루고 있는 T형벽체는 웹벽체와 평행한 방향으로 하중이 작용할 때, 그 가력 방향에 따라 서로 다른 휨 강도와 강성 그리고 연성능력을 갖는 특성 때문에 여러 연구자들의 주목을 받아 왔다 (Wallace, 1996;Wallace, 1995;Paulay et al, 1992;윤영호 외, 2000;최창식외, 1990). 즉, T형벽체의 수평하중에 대한 저항능력은 하중의 작용방향에 따라 크게 영향을 받는 것이며, 물론 이러한 방향성에 대한 효과가 여러 연구자들에 의하여 연구되어 왔지만, 현재 그 효과에 대해서 체계적으로 정량화되어 있지 않다.

* (주)토탈인포메이션서비스 수석해석과, 과장
** 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원, 공학박사
*** 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원, 공학박사
**** 대한주택공사 건축설계처 부장, 공학박사

더욱이 국내 철근콘크리트 구조물의 설계기준과 실무에서는 이러한 효과가 전혀 고려되지 않고 무시된 채 T형벽체를 일자형인 장방형벽체로 치환·설계하고 있는데, 이러한 T형벽체의 장방형벽체로의 설계에 따른 가장 큰 문제점은 지진과 같은 수평하중 작용시 벽체의 내력과 변형능력의 차이에서 오는 취성과파괴의 위험 및 과다설계라고 볼 수 있다.

결론적으로, 국내 아파트 건물의 전단벽 설계시 상기와 같은 설계가정상의 오류는 전단벽의 실제적인 거동과 설계자의 의도를 상이하게 하여 전단벽의 불안정한 거동을 만드는 원인이 되며, 또한 비경제적인 설계를 유도하는 결과를 초래하게 될 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 T형벽체에 있어서 플랜지벽체가 인장을 받는 경우, 플랜지벽체가 웨브벽체와 일체로서 거동하는 유효폭을 비선형 유한요소해석을 통하여 정량적으로 제시함으로써 보다 합리적인 T형벽체 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 유효폭에 대한 고찰

2.1 유효폭의 정의

유효폭의 개념은 튜브구조의 전단지체(shear lag)현상으로부터 설명할 수 있다. 튜브구조의 각 면은 하나의 벽체와 같은 거동을 한다고 가정하여 해석을 행할 수 있으며, 그 오차 또한 무시할 수 있는 정도인 것으로 알려져 있다. 이 경우 튜브구조는 수평하중 방향과 평행하게 배치된 기둥들이 웨브벽체와 같은 역할을 하고, 수직하게 배치된 기둥들이 플랜지벽체와 같은 역할을 하여 수평하중에 저항하게 된다. 이 때, 수평하중과 평행한 면에 있는 기둥들은 하부에 작용하는 반력의 분포가 보의 강성에 따라 비선형적인 분포를 갖게 되는데 이를 전단지체 현상이라 하며, 이 경우 웨브와 플랜지가 연결되어 있다면 접합부 웨브면에 생기는 응력이 플랜지면에 그대로 전달되는 응력분포를 갖게 된다(그림 2참조).

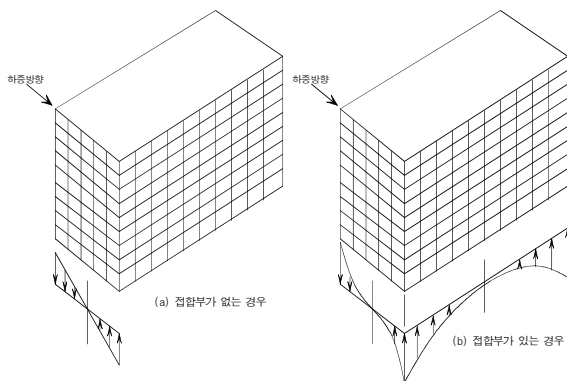


그림2. 튜브구조에서의 전단지체현상

그림 3(a)는 튜브형 구조에서의 기초반력 분포와 근사적인 플랜지의 유효폭을 나타낸 것으로, 유효폭은 전단지체로 인한 영향이 반영된 기초반력에 근거하며, 비선형적으로 분포된 반력을 사각형의 등가단면적으로 치환하여 그 폭을 수평하중에 대하여 웨브와 함께 유효한 거동을 하는 플랜지의 폭으로 정의한다.

본 연구에서 다루고자 하는 T형벽체에 있어서도 이러한 튜브구조와 마찬가지로 하중의 작용방향과 수직한 플랜지벽체는 전단지체 현상으로 인해 웨브벽체와 일체로 거동하는 부분과 그렇지 못한 부분으로 나뉘게 되며 웨브벽체와 함께 유효한 거동을 하는 플랜지벽체의 영역을 유효폭으로 정의할 수 있다(그림 3(b)참조).

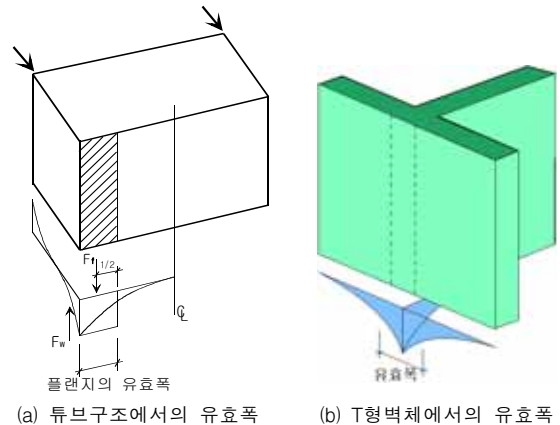


그림3. 튜브구조와 T형벽체에서의 유효폭

2.2 유효폭에 대한 국내·외 기준 고찰

T형벽체에 있어서 플랜지벽체의 유효폭 산정에 관한 여러 나라의 기준 및 기준 제안식을 표 1에 나타내었다. 표 1의 비교에서 알 수 있는 가장 큰 특징은 국내·외 기준 및 제안식들이 서로 조금씩 차이가 있다는 점인데, 이는 대상으로 삼고 있는 구조방식과 적용범위가 서로 상이하기 때문이다. 하지만, 이러한 고찰로부터 유효폭에 영향을 미치는 공통인자를 도출할 수 있으며, 그 공통인자로서 벽체의 높이, 웨브벽체의 길이, 플랜지벽체의 길이 및 두께 등이 플랜지벽체의 유효폭을 결정하는 주요 변수임을 알 수 있다.

3. 비선형 유한요소해석

본 절에서는 국내에서 실제 건설되고 있는 아파트에서 시공되고 있는 벽체두께를 기준으로, 충분한 길이의 플랜지벽체를 갖는 T형벽체를 3차원으로 모델링하고, 2.2절에서 살펴본 바와 같이 벽체의 높이, 웨브벽체의 길이, 그리고 플랜지벽체의 두께를 주요 변수로 비선형 유한요소해석을 수행하여 플랜지벽체의 유효폭에 각 변수들이 어떻게 영향을 미치는가를 파악하고자 한다.

표1. 여러나라의 기준 및 기준 연구자들에 의한 유효폭 산정방법

기준 및 제안자	유효 폭	변 수
PCI	① 웹브벽체 길이의 1/2 ② 건물 높이의 10% ③ 플랜지벽체의 길이, 또는 가장 가까운 주 개구부까지의 거리의 1/3 ④ 플랜지벽체 두께의 6배	벽체높이 웹브벽체길이 플랜지벽체길이 플랜지두께
ACI	① 벽체높이의 25% ② 인접한 웹브벽체간 거리의 1/2	벽체높이 웹브벽체길이
CSA	① 웹브벽체면으로부터 인접한 웹브벽체 의 거리의 1/2 ② 벽 높이의 10% ③ 플랜지벽체 길이의 1/5 ④ 플랜지벽체 두께 3배	웹브벽체길이 벽체높이 플랜지벽체길이 플랜지벽체두께
AIJ	Paulay & Priestley의 이론을 이용하여 산정 웹브벽체면으로부터 26.6°는 $\tan 26.6^\circ = 0.5$ 즉, 벽체높이의 1/2	벽체높이
대한건축 학회	① 플랜지벽체 두께의 16배 ② 플랜지벽체의 개구부 사이의 거리 ③ 벽체높이의 1/10 ④ 웹브벽체 길이의 1/2	플랜지벽체두께 벽체높이 웹브벽체길이
Paulay & Priestley	인장 $1/2(26.6^\circ)$ 의 경사를 두고 분포함. 유효폭 = $hw + bw$ 압축 유효폭 = $0.3hw + bw$	hw:벽체 높이 bw:웹브 벽체두께
Priestley & He	T형 조적조 전단벽의 경우, ① $l/h \leq 1.5$ 일 경우 : 플랜지벽체 전체 길이 ② $1.5 < l/h \leq 3.5$ 일 경우 : $0.75h + 0.5l$ ③ $l/h > 3.5$ 일 경우 : $2.5h$ h : 벽체높이, l : 플랜지벽체 길이	플랜지벽체길이 벽체높이
Wallace	$hw/4$, hw : 벽체높이	벽체높이

표2. 해석모델 일람표

해석모델명	웹브 길이 (m)	벽체 높이 (m)	플랜지 길이 (m)	플랜지 두께 (cm)	형상비	변수
H1-W1	1.0	1.0	4.0	20	1.0	벽체 높이
H2-W1	1.0	2.0	4.0	20	2.0	
H3-W1	1.0	3.0	4.0	20	3.0	
H4-W1	1.0	4.0	4.0	20	4.0	웹브 길이
H2-W2	2.0	2.0	4.0	20	1.0	
H2-W3	3.0	2.0	4.0	20	0.67	
H2-W4	4.0	2.0	4.0	20	0.5	플랜지 두께
H2-W1-T10	1.0	2.0	4.0	10	2.0	
H2-W1-T30	1.0	2.0	4.0	30	2.0	

* 주) W0-웹브벽체의 길이, H0-벽체의 높이
T0-플랜지벽체의 두께

플랜지벽체의 두께는 일반 중·고층 아파트에서 설계되는 외벽치수(20cm)와 초고층 아파트의 저층부에서 설계되는 치수(30cm), 그리고 일반적으로 설계되는 치수는 아니지만 플랜지벽체의 두께를 단적으로 줄였을 경우(10cm)의 세가지로 계획하였으며, 벽체의 수직·수평철근은 건설교통부제정 “콘크리트구조물설계기준”에서 제시하고 있는 설계기준을 만족하도록 하였다. 또한, 해석모형은 해석상의 편의를 위하여 T형 벽체의 대칭성을 이용하여 그림 4와 같이 해석모형의 웹브벽체를 중심으로 한 쪽 1/2만을 3차원으로 모델링 하였다.

해석모델에서 벽체는 실제 아파트의 벽체처럼 축하중과 횡하중을 동시에 받고 웹브벽체의 단부를 폐쇄형후프에 의해 기둥식으로 보강된 상세를 갖도록 하였으며, 재료의 비선형성은 철근콘크리트 전용해석 프로그램인 Total-RC에 내장된 모델을 이용하여 수행하였다.

3.1 해석모형

해석모형은 2.2절의 연구결과로부터 벽체의 높이, 웹브벽체의 길이, 그리고 플랜지벽체의 두께와 함께 벽체 형상비의 영향을 새롭게 고려하여 플랜지벽체에서의 유효폭을 결정하는 주요 변수로써 사용하였으며, 표 2와 같이 총 9개의 해석모형을 구성하였다.

해석모형의 플랜지벽체는 횡하중 가력시 적용된 변수에 따른 유효폭의 변화를 충분히 관찰할 수 있도록 모든 해석모형에 대하여 4.0m로 하였으며, 해석모형의 형상비는 중·저층 아파트와 고층아파트에서 나타날 수 있는 형상비를 고려하여 0.5~4.0까지 다양한 형상비를 갖도록 계획하였다.

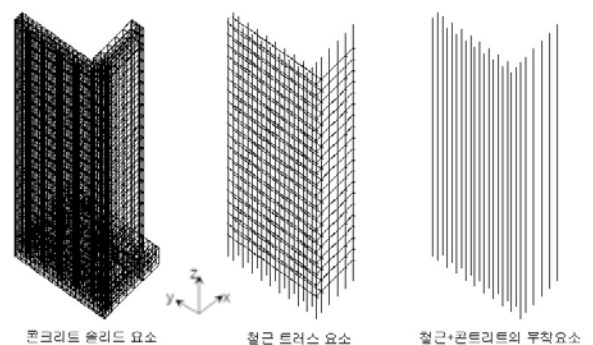


그림4. T형벽체의 대칭성을 이용한 각 요소의 모델링

해석모형은 xz평면을 대칭으로 하여 1/2만을 모델링 하였으므로(그림 4), y방향의 이동과 x, z축의 회전을 구속하였고, 기초부의 하부를 각 방향의 이동 및 회전이 구속되도록 경계조건을 설정하였다.

콘크리트는 8절점 아이소파라메트릭 솔리드(Isoparametric Solid)요소를 사용하여 모델링 하였으며, 철근은 2절점 트러스(Truss)요소를 사용하였다. 또한 콘크리트와 철근의 미끄러짐 파괴에 의한 인발거동을 표현하기 위하여

철근과 콘크리트 사이에 부착(Bond)요소를 사용하였는데, 이 경우 수평하중이 작용하는 벽체에서 휨인장력을 받는 수직철근에 대해서만 부착요소를 사용하였다. 모델링에 사용한 각 구성 재료의 비선형성은 그림 5와 같다.

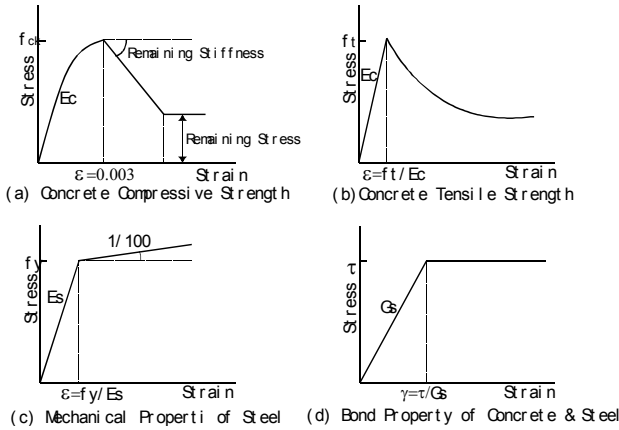


그림 5. 각 구성 재료의 비선형 모델

3.2 하중가력 및 제어방법

하중은 실제 아파트에서와 같이 연직하중과 수평하중이 동시에 작용하도록 재하하였다. 기존 아파트를 조사한 결과, 수평하중(지진하중, 풍하중)과 연직하중이 동시에 작용할 경우 각 벽체들에 작용하는 축력비($P_u / A_g f_{ck}$)의 평균값은 약 9%로 조사되었으며, 따라서 본 유한요소 해석에서는 축력비 약 10%의 하중을 해석모형 상부에 등분포로 작용시켰다. 수평하중은 강제변위제어를 통해 제어하였으며, 초기 벽체가 탄성적인 거동을 할 수 있도록 충분히 작은 값으로부터 시작하여 점증가력 하였다. 해석에서의 하중가력 및 제어방법에 대하여 그림 6에 나타내었다.

강제변위하중은 웨브벽체 상부 중심에 위치한 절점을 작용하중과 나란한 방향(그림 6의 x방향)으로만 구속시킨 후 구속절점이 강제변위를 일으키도록 점증가력 하여 제어하였다. 해석에서 강제변위를 위한 구속절점의 구속 시점은 축력을 먼저 작용시킨 다음 해당 절점을 구속하여 강제변위 하중을 가력 하였다.

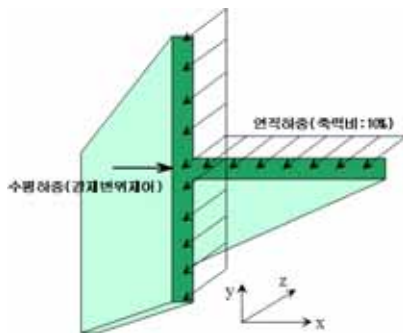
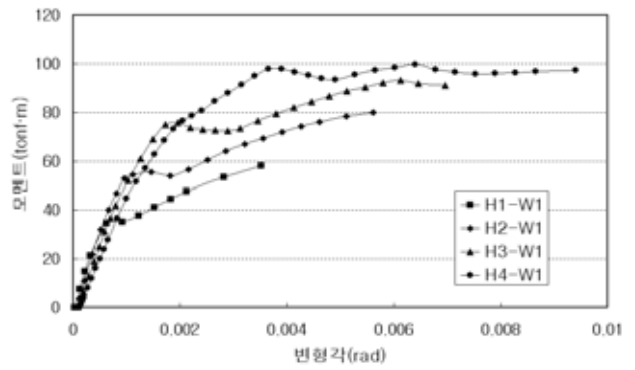


그림 6. 하중제어 방법

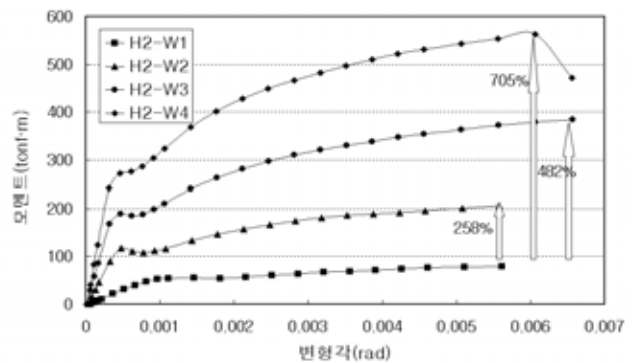
3.3 해석결과 및 분석

3.3.1 모멘트-변형각(θ) 관계

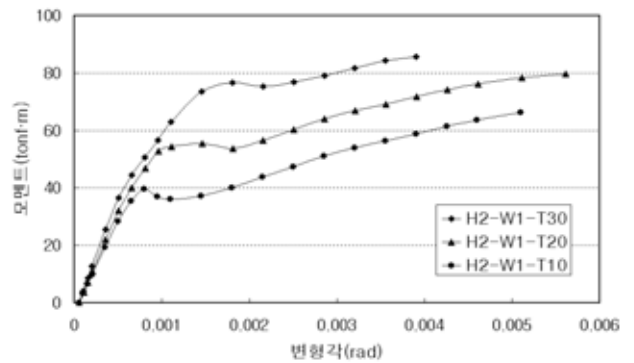
그림 7(a)~(c)에 각 변수별로 해석모델의 모멘트-변형각 관계를 나타내었다. 웨브벽체의 길이가 일정하고 벽체의 높이를 달리한 해석모델의 경우(그림 7(a))에 있어서 웨브벽체의 단면형상과 철근배근량이 일정할 경우, 높이 변화에 따라 변형각 및 전단내력은 변화할 수 있지만 장방형의 동일 단면이 저항할 수 있는 모멘트 내력은 일정해야만 한다고 할 수 있다.



(a) 벽체의 높이



(b) 웨브벽체의 길이



(c) 플랜지벽체의 두께

그림 7. 적용 변수별 모멘트-변형각 관계

하지만, 그림 7(a)에 나타난 바와 같이 각 해석모델의 휨 강도 값은 벽체의 높이가 높아질수록 모멘트 강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 벽체의 높이(또는 형상비)가 커질수록 T형벽체의 구조성능에 대한 플랜지벽체의 기여도가 커지다는 것을 의미한다.

또한 벽체의 높이가 같고 웹브벽체가 길어질수록 부재의 내력은 그에 비례하여 증가하여야 하나, 그림 7(b)에서 보는 바와 같이 웹브벽체의 길이가 1m에서 2m, 3m, 4m로 증가함에 따라 부재의 내력은 각각 258%, 482%, 705%의 증가를 보이고 있어, 벽체의 길이가 증가할수록 내력의 증가량은 웹브벽체의 길이 증가에 따른 예상내력보다 오히려 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 웹브벽체의 길이가 증가할수록 즉, 형상비가 작아질수록 플랜지벽체의 유효폭이 좁아지는 것에 기인하는 것으로 판단되며, 그 비율은 일정하지 않은 것으로 나타났다.

벽체의 높이 및 웹브벽체의 길이와 두께를 일정하게 하고 플랜지벽체의 두께를 변수로 한 해석모델에서는 플랜지벽체의 두께가 두꺼워질수록 내력이 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 그 증가량은 두께 증가로 인한 예상내력보다 훨씬 높게 나타났으며, 이러한 결과는 플랜지벽체의 두께의 변화가 또한 플랜지벽체의 유효폭에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

3.3.2 플랜지벽체 수직철근의 응력분포

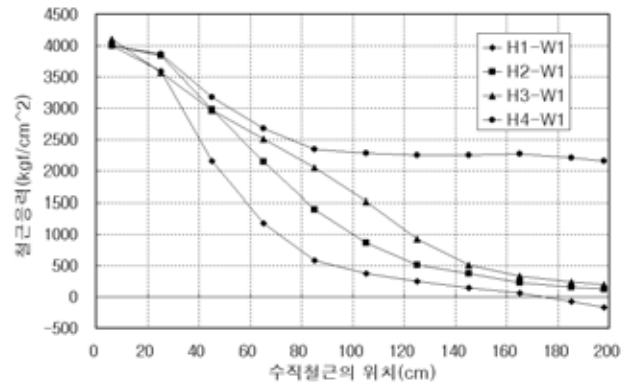
본 절에서는 플랜지벽체에 배근된 수직철근의 응력분포 변화를 통하여 구체적으로 유효폭이 어떻게 달라지는지를 조사하였다.

그림 8(a)~(c)는 웹브벽체 단부의 수직 철근이 항복강도에 도달한 시점을 기준으로 플랜지벽체에 배근된 수직철근의 응력분포를 각 변수별로 비교하여 나타낸 것이다. 그림 8로부터 알 수 있는 바와 같이 벽체의 높이가 높아질수록 동일한 하중조건에서 수직철근들의 응력이 커지고, 그 영향범위가 플랜지벽체의 바깥쪽으로 퍼져나가는 것을 알 수 있다. 이는 벽체의 높이가 높아질수록 웹브벽체와 일체로 거동하는 플랜지벽체 유효폭이 넓어진다는 것을 의미한다.

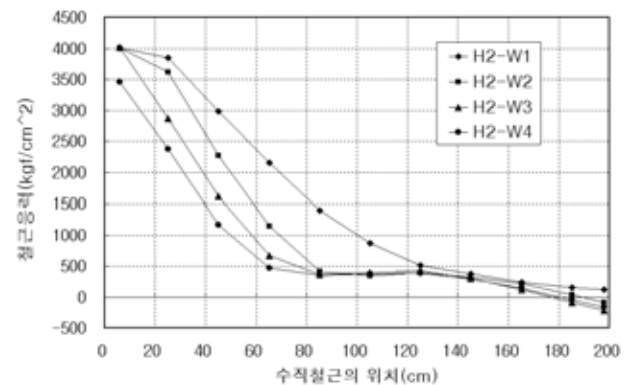
또한, 웹브벽체의 길이가 길어질수록 플랜지벽체 수직철근의 응력이 작아지고 플랜지벽체의 안쪽으로 좁혀져가는 것을 알 수 있다. 이는 웹브벽체의 길이가 길어질수록 전술된 바와 같이 웹브벽체와 일체로 거동하는 플랜지벽체의 유효폭이 좁아지고 있다는 사실을 의미한다.

플랜지벽체의 두께에 있어서도 플랜지벽체의 두께가 두꺼워질수록 플랜지벽체 수직철근의 응력이 커지고 플랜지벽체의 바깥쪽으로 그 영향범위가 퍼져나가는 것으로 나타났다.

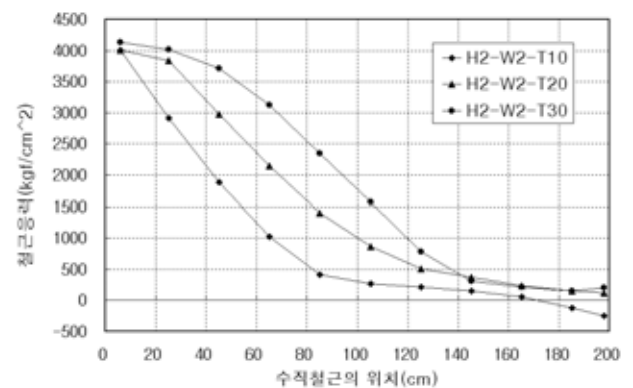
플랜지벽체의 유효폭은 2.1절에서 정의한 바와 같이 T형벽체가 수평하중에 저항 시 웹브벽체와 함께 유효하게 거동하는 폭이라 할 수 있다.



(a) 벽체의 높이



(b) 웹브벽체의 길이



(c) 플랜지벽체의 두께

그림8. 각 변수별 플랜지벽체 수직철근의 응력분포

하지만, 해석결과 이러한 유효폭은 하중의 초기단계에서부터 벽체의 최종파괴 시까지 각 단계별로 달라지는 것으로 나타났다. 따라서 어느 단계에서 유효폭을 결정하는가는 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 벽체의 공칭강도 평가 시 고려되어야 하는 유효폭을 산정하는데 목적이 있으므로 웹브벽체의 단부에 위치한 수직 휨 인장철근이 항복강도에 도달한 시점에서 플랜지벽체의 유효폭을 평가하였다.

이 경우, 유효폭은 플랜지벽체가 인장력을 받을 경우를 의미한다. 플랜지벽체가 인장력을 받을 때, 일반적으로 콘크리트의 인장강도는 무시할 수 있으므로 웨브벽체 단부에 배근된 수직철근이 항복강도에 도달한 시점에서 플랜지벽체에 배근되어 있는 수직철근의 응력분포를 알아보고, 튜브구조에서 유효폭을 산정한 방법에 착안하여 등가단면적 환산법을 통하여 플랜지벽체에서의 유효폭을 산정하였다. 이러한 유효폭산정 방법에 대하여 그림 9에 나타내었다.

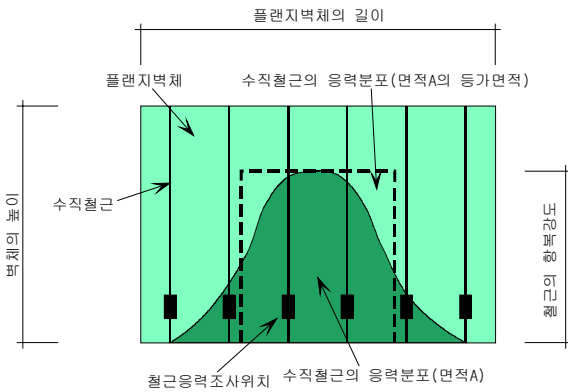


그림9. 등가면적법에 의한 유효폭 평가

해석에 사용된 변수들 중, 플랜지벽체의 두께를 제외하고 벽체의 높이와 웨브벽체의 길이 변화를 통일하여 표현하면 벽체의 형상비 변화를 의미한다고 할 수 있으며, 해석결과 플랜지벽체의 유효폭은 이러한 벽체의 형상비에 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다(표 3참조). 즉, 벽체의 형상비가 클수록 웨브벽체와 일체로 거동하는 플랜지벽체에서의 유효폭이 넓어지는 경향이 있음을 알 수 있다. 또한, 형상비가 같을 때에는 플랜지벽체의 두께 또한 유효폭에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

표 3은 외국의 대표적인 몇몇 기준과 해석결과를 비교한 것으로, 표에서 알 수 있는 바와 같이 기존 각국의 기준에서 제안하고 있는 유효폭 산정식은 벽체의 형상비가 변화함에 따라 유효폭이 증감함에도 불구하고 이러한 변화를 반영하지 못하고 있으며, 그로 인하여 실제 유효폭보다 과다하거나 과소한 유효폭이 산정되고 있음을 알 수 있다.

따라서, 형상비를 변수로 하여 유효폭의 변화를 표현할 수 있는 새로운 함수를 플랜지벽체의 유효폭 산정식으로 제안할 수 있다면 보다 합리적인 유효폭을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 플랜지벽체의 유효폭 제안

4.1 회귀분석

3.3.2절에서 밝힌 바와 같이 플랜지벽체의 유효폭에 대

표3. 기존 제안식과 해석결과값과의 비교

해석모델명	형상비	플랜지벽체의 유효폭		
		PCI, CSA	ACI	FEM해석
H1-W1	1.0	38cm	70cm	100.6cm
H2-W1	2.0	58cm	120cm	143.6cm
H3-W1	3.0	78cm	170cm	165.6cm
H4-W1	4.0	98cm	220cm	254.6cm
H2-W2	1.0	58cm	120cm	105.8cm
H2-W3	0.67	58cm	120cm	85.6cm
H2-W4	0.5	58cm	120cm	71.0cm
H2-W1-T10	2.0	58cm	120cm	87.6cm
H2-W1-T30	2.0	58cm	120cm	181.6cm

한 기존의 제안식들은 형상비에 따라 유효폭이 변하는 경향을 반영할 수 없음을 알 수 있다.

따라서 본 절에서는 그림 9에 나타난 산정방법에 의해 계산된 유효폭을 기준으로 회귀분석을 통하여 새로운 유효폭 산정식을 제안하고자 한다.

그림 10은 각 해석모델을 형상비로 분류하고, 그에 따른 유효폭과의 관계를 나타낸 것이다.

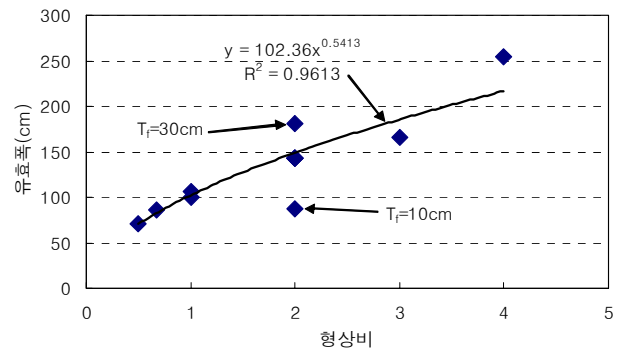


그림10. 벽체의 형상비에 따른 유효폭의 변화

그림 10의 회귀선은 플랜지벽체의 두께 10cm와 30cm인 경우를 제외한 나머지 결과들을 토대로 회귀분석한 결과로서, 신뢰도 약 96.1%의 상관관계를 지니는 것으로 나타났다. 플랜지벽체의 두께가 10cm, 30cm인 경우를 회귀분석에서 제외한 이유는 벽체의 두께가 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 형상비와는 다른 독립변수로서 취급함이 타당하다고 판단하였기 때문이며, 이 경우 데이터의 양이 회귀분석을 수행하기에는 충분치 않아 회귀분석은 실시하지 않았다. 또한, 두 벽체는 플랜지벽체의 두께변화가 유효폭에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하기 위해 채택한 변수였으며, 실무적인 차원에서 보면 벽체 두께 10cm의 경우 실제 구조물에서 내력벽체의 두께로 설계하

지 않고, 30cm의 경우에 있어서도 실제 고층 아파트에서는 잘 채용되지 않는 치수이므로 본 연구에서는 벽체의 두께변화를 고려하지 않고 일정하게 제한하여 설계식을 제안하는 것이 보다 바람직하다고 판단하였기 때문이다.

그림 10에서 회귀분석에 의한 식은 실무 적용하기에는 다소 복잡하므로 이를 보다 간략하게 정리하여 회귀식에 근접한 식으로 변환하면 다음 (1)식과 같다.

$$l_{ew} = 95 \times x^{0.5} \quad (1)$$

여기서, l_{ew} : 유효폭, x : 형상비

위의 식을 다시 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$l_{ew} = 95 \times \left(\frac{h_w}{l_w}\right)^{0.5} \quad (2)$$

여기서, l_{ew} = 유효폭, h_w = 벽체의 높이, l_w = 웹브벽체의 길이.

단, 제안식에 의해 구해지는 유효폭은 플랜지벽체의 전체 길이에 대한 값이며, 플랜지벽체 두께 10cm와 30cm인 경우를 제외한 결과로서 두 경우에 대해서는 매우 보수적이거나 과대평가하는 결과를 나타내게 된다. 하지만, 앞서 밝힌 바와 같이 현재 건설되고 있는 아파트에서 일반적으로 사용되고 있는 벽체의 두께 치수는 20cm로서, 30cm를 대상으로 할 경우에도 다소 보수적이기는 하나 약산식에 의해 계산되는 유효폭에 대하여 안전측의 예측이 가능하며, 10cm의 경우는 거의 사용되지 않는 치수이고 두께 변화의 추이를 알아보기 위해 적용한 변수이므로, 본 제안식의 유효성을 크게 해친다고는 볼 수 없다.

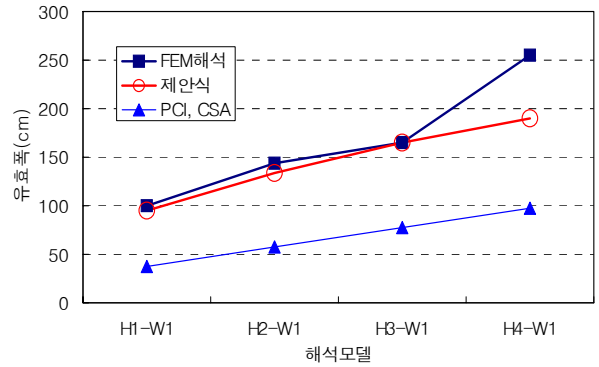
본 연구의 한계로 인해 플랜지벽체의 두께에 대하여는 보다 면밀한 분석이 이루어질 수 없었다. 따라서, 플랜지벽체의 두께 변화를 함께 반영할 수 있는 제안식은 추후 보다 많은 변수를 적용한 연구·분석을 통하여 연구될 필요가 있는 것으로 판단된다.

4.2 기존식과 제안식 비교

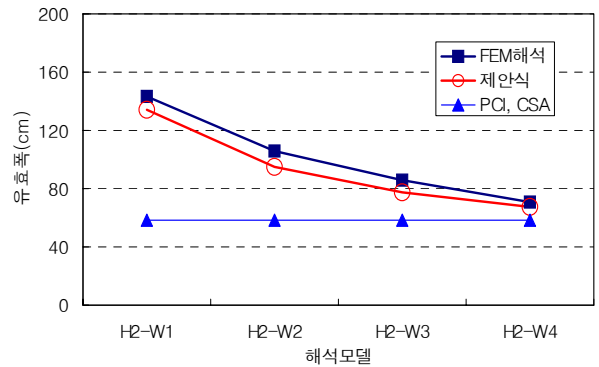
본 절에서는 4.1절의 회귀분석결과로부터 새롭게 제안된 식을 기존식과 비교하여 적용의 유효성과 타당성을 검증하고자 한다.

그림 11은 유효폭에 영향을 미치는 주요 변수별로 기존식과 제안식에 의한 유효폭을 유한요소해석결과와 비교한 것으로, 그림으로부터 기존식들은 벽체의 높이 및 웹브벽체의 길이 변화에 따라 유효폭을 과소평가 하고 있거나, 적용변수와 상관없이 일정한 값을 유효폭으로 산정하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구의 제안식은 이러한 변화를 잘 예측하고 있는 것을 알 수 있다. 다만, 그림 11(c)의 경우는 벽체의 형상비가 일정하면서 플

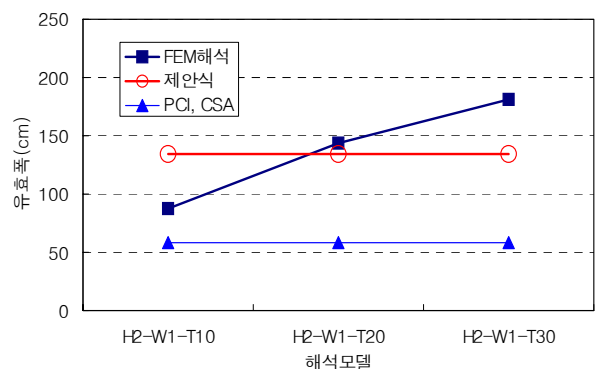
랜지벽체의 두께가 변하는 경우로서 기존식과 본 연구의 제안식 모두 일정한 값을 산정하는 것으로 나타났다. 따라서 형상비의 변화와 함께 플랜지벽체의 두께변화를 고려한 유효폭 산정을 위한 보완이 추후 필요할 것을 판단된다.



(a) 벽체의 높이



(b) 웹브벽체의 길이



(c) 플랜지벽체의 두께

그림 11. 기존식과 제안식의 유효폭 비교

5. 결론

본 연구에서는 T형벽체에 대하여 우리나라 현실에 맞는 플랜지벽체의 유효폭을 제안하기 위하여 비선형 유한요소법에 의한 해석적 연구를 수행하였다. 먼저, 문헌연

구를 통해 플랜지벽체의 유효폭에 영향을 미치는 주요 변수들을 파악하고, 이를 해석에 반영하여 각 변수들이 유효폭에 어떠한 영향을 미치는가를 확인하였으며, 해석 결과의 회귀분석을 통하여 새로운 유효폭 산정식을 제안하였다.

이러한 일련의 연구 과정을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 비선형 유한요소해석결과, 플랜지벽체의 두께 변화를 제외하면 유효폭에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 벽체의 형상비인 것으로 나타났으며, 유효폭은 이러한 형상비의 변화에 비례하여 점진적으로 변화하는 것으로 나타났다. 따라서 어느 한 변수에 의해 플랜지벽체의 유효폭이 결정되는 현재의 기존 제안식들은 이러한 형상비의 변화를 반영하고 있지 않다는 점에서 T형벽체의 유효폭을 산정하는데 효과적이지 못한 것으로 판단된다.

2. 본 연구에서는 비선형 유한요소 해석결과를 토대로 벽체의 형상비를 변수로 하여 새로운 T형벽체의 유효폭 산정식을 제안하였으며, 기존식과 제안식의 비교결과 본 연구를 통하여 제안된 식은 기존 제안식들 보다 벽체의 높이, 웹벽체의 길이 및 형상비 변화에 따른 유효폭의 변화를 훨씬 잘 반영할 수 있는 것으로 나타났다.

3. 플랜지벽체의 유효폭은 수평하중 작용 시 웹벽체와 일체로서 거동하는 부분을 의미하는 것으로, 실험체의 내력과 연계된 웹벽체 단부의 횡구속 면적의 변화와 벽체의 두께변화에 따라 달라질 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 기존 국내 특유의 보강방식인 ‘양단부 기둥식 보강’에서 실무에서 널리 적용되고 있는 보강범위 및 상세와 두께만을 대상으로 연구를 제한하였다. 만약, 벽체의 변형능력 증진을 위하여 보강영역이 달라지거나 배근상세 및 두께가 달라진다면 유효폭 또한 달라질 수 있다. 그럼으로, 이에 대하여는 추후 보완적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 대한주택공사와 한양대 STRESS의 공동연구결과 일부이며, 비선형 유한요소해석 연구를 지원한 (주)토탈인포메이션서비스 한국지점 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. John W. Wallace, “New Methodology for Seismic Design of RC Shear Walls”, Journal of Structural Eng. Div., ASCE, Jan. 1995, pp.75~87

2. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (318-99) and Commentary (318R-99)”, 1999

3. ACI Committee 363, “State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete” ACI Journal/July-August, 1984

4. T. Paulay and M.J.N. Priestley, “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, John Wiley & Sons, Inc, 1992

5. John W. Wallace, “Evaluation of UBC-94 Provisions for Seismic Design of RC Structural Walls” Earthquake, Volume 12, No. 2, May 1996

6. “PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete”, Third Edition, Prestressed Concrete Institute, 1985

7. 대한주택공사 주택연구소, “벽식구조 아파트에서의 이형벽체 최적설계기법 개발”, 2000

8. 崔彰植, 李利衡, 金日煥, “非彈性 反復荷重을 받는 鐵筋콘크리트 剪斷壁의 履歷舉動에 관한 實驗의 研究”, 大韓建築學會論文集, 第6卷 第6號, 1990.12, pp239~249

9. 한상환, 오영훈, 오창학, 이리형 (2000), “단면형상에 따른 벽식구조 전단벽의 구조 성능 평가”, 한국콘크리트학회논문집, 제12권 4호, pp. 3~14

10. 박홍근, 강수민, 조봉호, 홍성걸 (2000), “단부 횡보강이 없는 세장한 전단벽의 내진 성능”, 한국콘크리트학회논문집, 제12권 5호, pp. 47~57

11. 이리형, 이용택, 윤영호, 양지수 (2001), “벽식구조 아파트에서의 이형벽체 구조성능 평가실험”, 대한주택공사 주택연구소, 한양대학교 초대형 구조시스템 연구 센터

(接受: 2004. 3. 29)