

# 지하외벽슬래브의 부재력 분포에 대한 수치적 연구

김영찬 · 김동건\*

부경대학교 건축학부 · \*뉴테크구조

## Abstract

A numerical study using linear finite element analysis is performed to investigate the behavior of basement wall subject to soil and water pressure. In this study, parametric studies are performed to investigate the variation of moment and shear force according to column-to-wall stiffness ratios and aspect ratios. Scaled factors applicable to the design of basement wall are proposed with the illustration of design examples.

## 1. 서론

지하외벽의 구조형식은 버팀기둥 없이 각층 바닥에서 지지되는 1방향슬래브로 설계하는 방식과 토압이 과다하거나 건축계획상 벽두께의 제약이 따르는 경우 적당한 간격으로 버팀기둥이나 층 중간에 수평보를 설치하여 2방향슬래브로 설계하는 방식 등 크게 두가지로 구분할 수 있으며, 일반적으로 슬래브에서와 같이 벽체의 높이에 대한 길이의 비(L/H, 이하 형상비)에 따라 1방향해석 혹은 2방향해석으로 구분하여 설계를 수행하고 있다<sup>1,2,3,4)</sup>.

기존의 연구<sup>5)</sup>에서는 현재의 벽체설계시 고려하지 않는 벽체와 버팀기둥의 강성비에 대한 개념을 고려하여 기존의 설계법에 대한 문제점을 지적하였으나 다음과 같은 해석조건이 있어 연구결과의 적용이 제한적이었다: 형상비가 1~2, 내부경간의 벽체, 벽체상부의 불연속 회전단 경계조건, 토압하중만 고려함.

본 연구에서는 기존의 연구<sup>5)</sup>에서 고려하지 않은 다음과 같은 사항을 해석변수로 하였다: (1)버팀기둥지지점의 경계조건을 이동단과 회전이 구속된 이동단의 두가지 경우로 적용하였으며, (2)횡력으로 수압과 토압을 고려하였고, (3)연속스팬의 벽체에서 벽체를 중앙부분과 최외단 스팬의 벽체를 따로 고려하여 기존의 설계법<sup>1,2,3)</sup>과 기존의 연구결과<sup>5)</sup>를 비교하였다. 해석결과를 토대로 최대부재력을 구할 수 있는 보정계수를 구하였다.

## 2. 벽체의 해석

외벽 상하부의 경계조건으로 상단부는 (1) 단순지지 (2) 바닥슬래브 및 벽체보의 기여도를 반영하여 회전이 구속된 이동단(연속단)의 두가지 경우로 하였고, 하단부는 고정으로 가정하였다(그림 1). 횡력으로 수압과 토압에 의한 삼각분포하중과 표면재하에 의한 등분포하중으로 나누어 적용하였다.

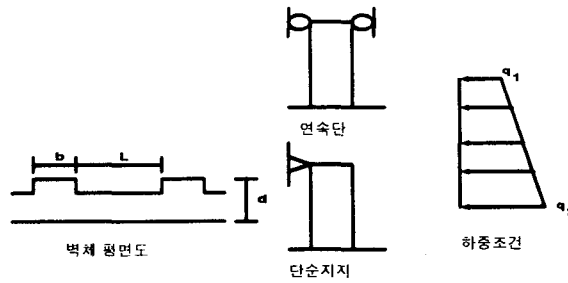


그림 1. 해석모델

### 형상 및 하중조건

일반적으로 지하외벽은 각층의 바닥슬래브와 버팀기둥이 지점이 되는 2방향해석을 적용하여 벽체 단부의 지지조건에 따라 1변, 3변, 4변고정 슬래브로 가정하여 설계한다.

유한요소를 이용한 벽체해석에서는 MIDAS<sup>(6)</sup>의 판요소를 이용하였으며, 해석모델의 형상은 다음과 같다.

(1) 해석모델은 버팀기둥과 벽체로 구성된 지하외벽은 벽체높이  $H=5.0\text{m}$ 를 기준으로 형상비가 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0로 모두 7개의 모델을 선정하였으며 각 모델에 대하여 벽체강성에 대한 버팀기둥의 강성비가 0.5, 1.0, 2.0, 5.0인 4가지 경우에 대하여 해석을 수행하였다.

(2) 벽체의 두께( $t$ )는 300mm, 버팀기둥의 너비( $b$ )는 500mm를 기준으로 하였으며, 버팀기둥의 춤( $d$ )는 벽체강성에 대한 버팀기둥강성의 비율( $I_c/I_w$ )에 맞춰 산정하였다. 여기서, 벽체강성은  $I_w = Lt^3/12$ 이고, 기둥강성은  $I_c = bd^3/12$ 이다.

### 3. 해석결과의 비교

그림 2는 상기의 변수를 토대로 형상비가 1이고, 흙의 단위체적당 중량이  $1.7\text{tf/m}^3$ , 표면재하  $1.0\text{tf/m}^2$ 가 작용할 때 기존의 방법을 이용하여 구한 최대부재력을 비교한 것이다. 수직방향 최대 정모멘트를 비교한 것으로 본 연구의 중앙벽과 비교했을 때 1방향 해석인 경우는 43~56%, 기존연구<sup>(5)</sup>의 경우는 6~25%정도 과대평가 되고 2방향해석중 경계조건이 3변 고정 1변 자유(이하 3fix-1free)인 경우는 76~130%, 경계조건이 4변 고정(이하 4fix)인 경우는 34~74%정도 과소평가 되어지는 것을 알 수 있다. 버팀기둥의 강성이 증가하면 수직방향 최대 정모멘트는 감소하게 되며, 형상비가 작은 벽체일수록 그 영향이 크고 형상비  $\lambda=1.75$ 이상인 경우는 그 영향이 아주 적은 것으로 나타났다.

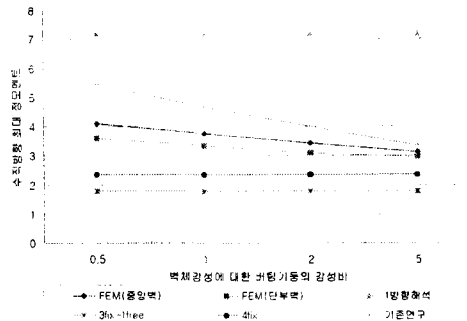


그림 2. 수직방향 최대 정모멘트

그림 3은  $\lambda=1.0$ 인 Model에 상기에 가정한 하중이 작용할 때의 기존해석방법, 기존연구, 본 연구의 수평방향 최대 부모멘트를 비교한 것으로 본 연구의 중앙벽과 비교했을 때 2방향해석중 경계조건이 3fix-1free인 경우는 54~85%, 경계조건이 4fix인 경우는 45~82%정도 많이 산출되어 과대계산 되고 있으며 기존연구의 경우는 강성비가 1.0이하일 때는 3~4%정도 과소계산이, 강성비가 2.0이상일 때는 2~10%정도 과대계산 되고 있는 것을 알 수 있다. 실제 부재력에 대한 이러한 과대, 과소의 오차율 및 강성비간의 오차정도는 형상비가 커질수록 줄어든다. 하지만, 2방향해석중 경계조건이 3fix-1free인 경우는 형상비 증가에 따라 오차율도 함께 증가하여  $\lambda=2.0$ 일 때 78~88%정도 과대설계 되었다.

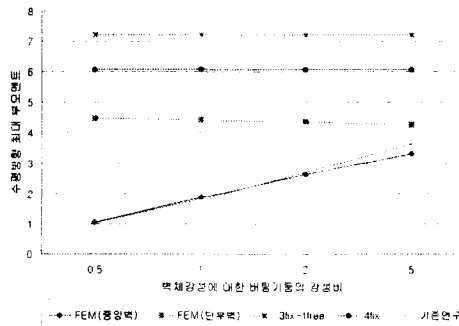


그림 3. 수평방향 최대 부모멘트

그림 4는  $\lambda=1.0$ 인 Model에 상기에 가정한 하중이 작용할 때의 기존해석방법, 기존연구, 본 연구의 수직방향 최대 전단력을 비교한 것으로 본 연구의 중앙벽을 기준으로 비교했을 때 1방향해석인 경우는 18~22%, 기존연구의 경우는 1~11%정도 많이 산출되어 과대계산 되고 있으며 2방향해석중 경계조건이 3fix-1free인 경우와 4fix인 경우

는 강성비가 1이하일 때는 각각 1~3%, 0~2%정도의 과소계산, 강성비가 2.0이상일 때는 모두 1~3%정도의 과대계산 되는 것으로 나타났다. 실제 부재력에 대한 이러한 과대, 과소의 오차율 및 강성비간의 오차정도는 형상비가 커질수록 줄어든다. 하지만, 2방향 해석중 경계조건이 3fix-1free인 경우는 형상비 증가에 따라 오차율도 함께 증가하여  $\lambda=2.0$ 일 때 27%정도의 과대계산 되는 것으로 나타났다.

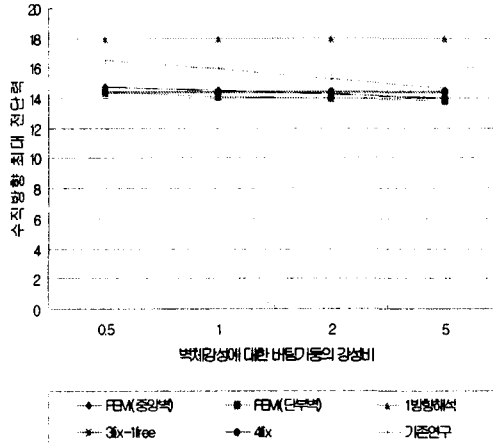


그림 4. 수직방향 최대 전단력

지하외벽에서 버팀기둥의 강성이 증가하면 부재력의 흐름이 강성이 큰 버팀기둥쪽으로 흐르게 되어 벽체 수직방향의 모멘트는 감소하고 수평방향의 모멘트는 증가하여 2방향 거동을 하게 되며, 반대로 버팀기둥의 강성이 감소하면 부재력이 버팀기둥보다는 슬래브와 기초가 지지점이 되는 1방향 거동을 하게 되어 벽체의 수직방향 모멘트는 증가하고 수평방향 모멘트는 감소하였다. 그리고, 버팀기둥없이 벽체만으로 구성된 지하외벽의 경우는 벽체두께대 벽체길이의 비가 증가하면 수직방향 최대 정모멘트와 수평방향 최대 정모멘트는 증가하고 수직방향 최대 부모멘트, 수평방향 최대 부모멘트 및 수직방향 최대 전단력은 감소하는 경향을 보였다.

유한요소 해석결과를 이용하기 위하여 보정계수를 구하였다<sup>7)</sup>. 유한요소 평판해석에 의한 부재력을 판에서 하중형태에 따른 부재력을 구하는 식(1)에 대입하여 보정계수를 역으로 산출하였다. 앞에서 언급한 모든 모델조건에 대하여 모멘트 및 전단력을 보정하는 계수를 구하였으며 표면재하와 횡하중(수압과 토압)에 대한 지하외벽의 거동이 다르기 때문에 계수를 나누어 구하였다. 표1에 수직방향 정모멘트에 대한 보정계수가 나와 있다.

$$M = \alpha \times q_1 \times L_x^2 + \beta \times (q_2 - q_1) \times L_x^2, \quad V = \alpha \times q_1 \times L_x + \beta \times (q_2 - q_1) \times L_x \quad (1)$$

여기서, M, V는 각각 모멘트와 전단력이고  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 하중형태에 따른 보정계수이며,  $L_x = \min(H, L)$ 이다.

표 1. 수직방향 최대 정모멘트의 보정계수

형상비 강성비	α			β		
	1.0	1.5	1.75	1.0	1.5	1.75
0.5	0.0343	0.0395	0.0410	0.0178	0.0203	0.0210
1.0	0.0310	0.0385	0.0406	0.0163	0.0199	0.0208
2.0	0.0279	0.0378	0.0403	0.0150	0.0196	0.0207
5.0	0.0251	0.0372	0.0400	0.0137	0.0194	0.0206

#### 4. 보정계수의 적용

임의의 형상비와 하중상태를 가진 지하외벽의 부재력을 보정계수를 이용하여 산정한 결과와 유한요소 평판해석에 의한 결과를 비교하여 본 연구에서 제안한 계수들의 신뢰성을 검토하였다. 설계 벽체의 조건: 형상비  $\lambda=1.7(H \times L=6m \times 10.2m)$ , 강성비  $I_c/I_w=1.5$ , 벽두께=0.3m, 기둥의 너비=0.5m, 기둥의 춤=0.938m

중앙벽의 수직방향 최대 정모멘트를 구하기 위해 표1에서 등분포하중에 대한 계수(α)를 강성비 1.5와 2.0을, 형상비 1.5와 1.75의 모멘트계수를 직선보간하여 0.040를 얻고, 선형분포하중에 대한 계수(β)를 강성비 1.5와 2.0을, 형상비 1.5와 1.75의 계수를 직선보간하여 0.0206를 얻는다. 이 보정계수를 식 (1)에 대입하여 수직방향 최대 정모멘트  $M = 0.040 \times 0.68 \times 6^2 + 0.0206 \times (10.95 - 0.68) \times 6^2 = 8.60 \text{ tf} \cdot \text{m}$  를 얻을 수 있다. 이외의 부재력도 상기와 동일한 방법으로 구할 수 있다. 표2는 4변고정의 2방향해석고 비교한 것으로 수직방향 모멘트와 전단력은 비교적 오차가 적으나 수평방향의 경우 2방향해석이 2배정도로 과대평가하고 있다. 또, 중앙부가 단부보다 차이가 크다는 것을 알 수 있는데 이는 중앙부가 휨강성에 있어 더 불리한 경계조건을 갖기 때문이다.

표 2. 최대부재력의 비교

부재력	2방향해석 (a)	중앙스팬 벽체		단부스팬 벽체	
		본 연구 (b)	오차율 (a)/(b)	본 연구 (c)	오차율 (a)/(c)
+M <sub>V</sub>	8.4	8.6 (11.0)	0.981 (0.76)	8.6 (10.6)	0.98 (0.79)
-M <sub>V</sub>	19.5	19.8 (24.9)	0.98 (0.78)	19.7 (24.3)	0.99 (0.80)
+M <sub>H</sub>	2.5	2.9 (3.9)	0.86 (0.64)	3.4 (4.5)	0.73 (0.55)
-M <sub>H</sub>	12.0	5.7 (7.0)	2.10 (1.74)	8.5 (11.3)	1.41 (1.06)
V <sub>H</sub>	23.7	23.7 (26.7)	1.00 (0.89)	23.9 (26.7)	0.99 (0.89)

주) 괄호안의 값은 벽체상단부가 단순지지인 경우, V, H는 각각 수직, 수평방향을 나타냄.

## 5. 결 론

지하외벽이 버팀기둥과 벽체로 구성된 경우는 버팀기둥과 벽체의 강성비에 따라 부재력의 흐름 및 분담정도가 달라짐에도 불구하고 이러한 개념의 반영없이 세장비에만 의존한 1방향 및 2방향해석의 경우 과대 또는 과소설계로 인해 구조체의 안전에 문제가 될 수 있다. 지하외벽설계시 모델링 과정이 복잡하고 많은 시간과 노력을 필요로 하는 3차원 평판해석을 모든 경우에 있어 수행하는 것은 비효율적이므로 위의 해석결과에서 언급한 보정계수를 이용한다면 실제에 가까운 부재력을 쉽게 얻을 수 있다.

## 참고문헌

1. 기술경영사 편집부, "흙과 기초의 설계 계산 연습", 기술경영사, 1996.
2. 대한주택공사 주택연구소, "극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 실무", 기문당, 1999.
3. 대한건축학회, "통합설계법에 의한 콘크리트 구조설계기준 건축구조물 설계 예제집", 기문당, 2000.
4. Richard Bares, "Tables for the Analysis of Plates, Slabs and Diaphragms based on the Elastic Theory", MacDonald and Evans Ltd., 1979.
5. 유병익, 강석규, 조영태, "지하외벽거동에 관한 연구", 건축지, 대한건축학회, 2000, 3월, pp.35-40.
6. Posdata, "MIDAS GENw User's Manual vol I ~ III", 2000.
7. 김동건, 지하외벽의 부재력분포에 관한 수치적 연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문, 2002.