



축하중을 받는 철근콘크리트 벽체의 장기거동에 관한 연구

권승희¹⁾ · 김윤용²⁾ · 김진근^{1)*} · 박연동³⁾

¹⁾한국과학기술원 건설 및 환경공학과, ²⁾충남대학교 토목공학과, ³⁾대구한의대학교 건설건축디자인학부

Long-term Behavior of Reinforced Concrete Wall under Axial Loading

Seung-Hee Kwon¹⁾, Yun-Yong Kim²⁾, Jin-Keun Kim^{1)*}, and Yon-Dong Park³⁾

¹⁾Dept. of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-338, Korea

²⁾Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³⁾Dept. of Construction and Architectural Design, Daegu Haany University, Gyeongsan 712-240, Korea

ABSTRACT The purpose of this study is to suggest a method to quantitatively predict long-term deformation of walls under an axial load concentrated to a part of the whole width. Four wall specimens were tested and three-dimensional finite element analyses were performed for these specimens. The finite element models established in this study were verified from the test results. On the basis of this verification, analysis parameters were selected considering various dimensions of walls and sectional area that a concentrated load is acting on, and finite element analyses for these parameters were carried out. The concept of the effective width coefficient was newly introduced as a method to predict the long-term behavior of walls, and a function that is able to optimally fit the effective width coefficients calculated from the analysis results for the selected parameters was found from regression analysis. The found function can be conveniently used in practice to predict the long-term behavior under loads concentrated to a local area of the whole width of walls.

Keywords wall, long-term behavior, experiment, finite element analysis, effective width coefficient

1. 서 론

콘크리트 재료는 크리프와 건조수축과 같은 시간의존적 변형특성을 갖는다. 이로 인해 콘크리트 구조물은 장기간에 걸쳐 변형이 증가하게 되며, 부재 내의 강재 또는 철근에 의해 작용하는 응력은 시간에 따라 재분배된다. 이러한 콘크리트 구조물의 장기거동은 구조물의 특정 부위에 응력을 집중시키거나 과도한 처짐에 의한 균열을 유발시킬 수 있으며, 사용성과 내구성에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 구조물을 설계 및 시공할 때 장기거동에 대한 영향을 고려하는 것이 필요하다.

장기거동에 의해 발생하는 구조적 문제는 고층건물에서 두드러지게 나타나게 되며, 구조물을 구성하는 기둥간의 부등축소량에 대한 많은 연구들이 수행되어 왔다. 최근에는 기둥 부재 자체의 장기거동 특성뿐만 아니라 구조물의 시공단계까지 고려하여 보다 정확한 해석결과를 얻고자 하는 노력이 경주되고 있다¹⁻⁴⁾. 그러나 축하중을 받는 구조 부재 중 벽체의 장기거동에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

축하중을 받는 벽체의 경우 벽체에 연결되는 보, 슬래브,

및 기둥에 의해 단면 내 전체 면적에 일정한 응력이 작용하기 어려우며, 일부분에 응력이 집중되게 된다. 이러한 경우 벽체의 장기변형을 정량적으로 예측하기가 매우 어려우며, 이에 대한 기존의 연구 또한 보고되어 있지 않다.

이 연구에서 벽체 폭의 일부분에 축하중이 가해지는 경우에 대한 장기거동 실험과 실험체에 대한 삼차원 유한요소 해석이 수행되었으며, 실험 및 해석결과를 통해 벽체의 장기거동 특성 파악과 유한요소 모델의 정확성에 대한 검증이 이루어졌다. 검증된 유한요소 모델을 바탕으로 벽체의 폭, 가압 면적, 벽체의 높이 등을 달리한 여러 가지 해석변수를 선정하여 유한요소 해석을 실시하였다. 벽체의 장기변형을 예측할 수 있는 새로운 방법으로 유효폭 계수에 대한 개념을 도입하였으며, 선정된 변수에 대한 해석결과로부터 계산된 유효폭 계수에 대해 회귀분석이 이루어졌다. 이를 바탕으로 벽체의 장기변형을 정량적으로 예측할 수 있는 유효폭 계수 산정식이 제안되었다.

2. 벽체의 장기거동 실험

2.1 실험계획

이 연구에서 수행된 벽체의 장기거동 실험에 대한 변수는 위의 Table 1과 같이 세가지 이다.

*Corresponding author E-mail : kimjinkeun@kaist.ac.kr

Received September 5, 2005, Accepted April 28, 2006

©2006 by Korea Concrete Institute

Table 1 Test variables

	Test variables		
	W-10	W-30	W-50
Width	100 mm	300 mm	500 mm
Length	400 mm	1000 mm	1000 mm
Loading width	100 mm	100 mm	100 mm

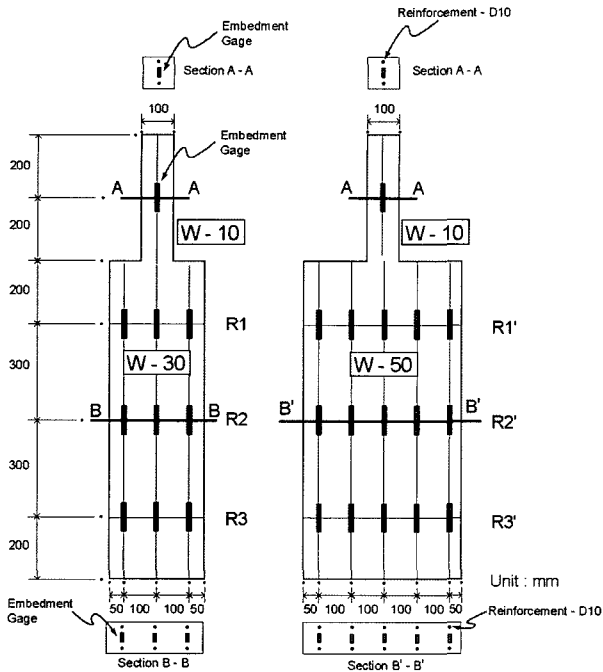


Fig. 1 Dimension of specimens and gage location

벽체의 일부분에 축하중이 집중되는 경우를 모사하기 위해 하중이 가해지는 면적을 일정하게 하고 벽체의 폭이 다른 세 가지 변수를 선정하였다. 세 가지 변수 모두 단면의 두께는 100 mm 이다. 첫 번째 실험변수는 하중이 가해지는 면적과 벽체의 단면적이 같은 경우로 사각기둥에 축하중이 가해지는 경우로도 볼 수 있다. 각 실험변수에 대한 실험체 형상과 실험체 내에 설치된 콘크리트 매립게이지의 위치는 Fig. 1과 같다. W-10은 자체가 실험변수인 동시에, W-30과 W-50 실험체와 일체로 타설 되어 W-30과 W-50 실험체의 중심에 하중을 가하는 역할도 하게 된다. 각각 2개의 동일한 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

각 실험체에서 시간에 따른 변형률을 측정하기 위해 두께방향으로 중심 위치에 100 mm 길이의 매립게이지를 설치하였다.

시간에 따라 일정한 하중을 유지하기 위해 50 tonf 용량의 spring-loaded frame을 사용하였다. 타설 후 습윤양생을 실시하였고, 재령 28일에 세 가지 실험체에 모두 120 kN의 하중을 가하였다. 건조수축을 억제하기 위해 모든 실험체에 파라핀을 도포하여 외부 대기와 차단시켰으며, 20°C를 유지하는 항온실에서 실험하였다. Fig. 2는 벽체의 장기거동 실험 모습이다.

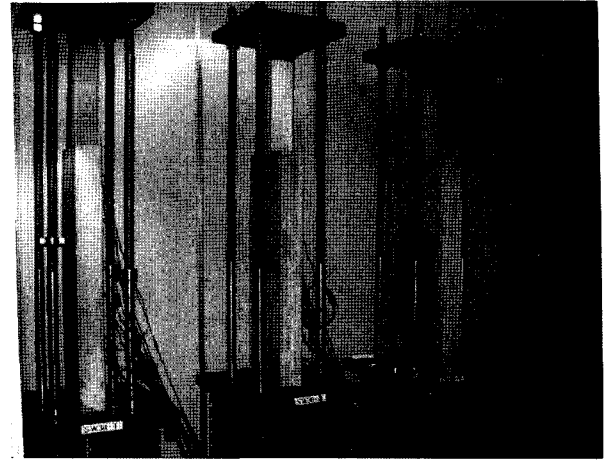


Fig. 2 Experimental apparatus

2.2 재 료

실험에 사용된 콘크리트의 배합은 Table 2와 같다. 콘크리트 재령 28일에 실험을 시작하였다. 3개의 $\phi 150 \times 300$ mm 원주형 공시체를 제작하여 재령 28일에 콘크리트의 강도 및 탄성계수를 측정하였다. Table 3은 콘크리트와 철근의 역학적 특성을 정리한 것이다.

콘크리트 재료의 기본크리프 특성을 파악하기 위해 중심부에 매립게이지가 설치된 3개의 $\phi 150 \times 300$ mm 실험체를 제작하였고, 재령 28일에 표면을 밀폐시킨 후 가압하여 벽체 실험체와 같은 기간 동안 기본 크리프 실험을 수행하였다. 기본크리프 실험에서 측정된 변형률로부터 크리프계수가 계산되었다. 크리프계수는 초기 탄성변형에 대한 크리프 변형의 비이며; ACI 모델⁵⁾과 형태가 같은 다음의 식으로 회귀분석을 수행하였다.

$$\Phi(t, t') = \Phi_U \frac{(t - t')^\beta}{\alpha + (t - t')^\beta} \quad (1)$$

여기서 t 와 t' 는 각각 하중이 가해지는 시점의 재령과 하중이 가해진 후 임의의 시간을 의미하며, 단위는 일(day)이다. 극한크리프계수 Φ_U 는 시간이 무한히 흘렀을 때 크리프계수이다. 회귀분석을 통해 얻은 상수 α , β 와 Φ_U 는 각각 21.4, 0.78, 2.24 이었다. Fig. 3은 실험으로부터 구한 크리프계수와 회귀분석결과이다. 이 회귀분석결과는 벽체 실험체에 대한 유한요소해석에 사용된다.

Table 2 Mix proportion

w/c (%)	Fine aggregate ratio (%)	Unit weight(kg/m ³)			
		Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate
58	43	187	320	776	1,036

Table 3 Mechanical properties

Material	Elastic modulus (GPa)	Strength (MPa)	Poisson's ratio
Concrete	21.5	23(at 28days)	0.18
Steel	200	300(at yielding)	0.30

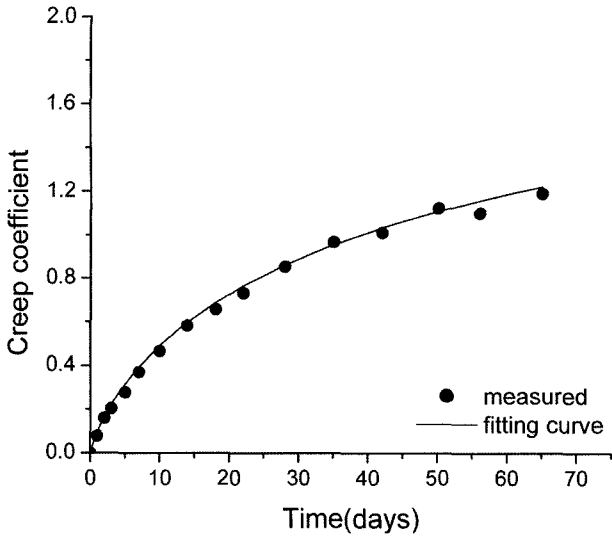


Fig. 3 Creep coefficient obtained from the test results for three control specimens(mm) of basic creep

3. 유한요소해석

3.1 개요

이 연구에서 수행한 유한요소해석의 목적은 해석적 방법으로 벽체 폭의 일부분에 하중이 집중되는 경우 장기 변형을 정량적으로 예측할 수 있는 방안을 모색하는 것이다.

우선 각 실험체에 대한 3차원 유한요소해석을 수행하고 해석결과와 실험결과와의 비교를 통해 유한요소모델이 실제의 거동을 정확히 묘사할 수 있는 지에 대한 검증이 이루어졌다. 이를 바탕으로 실제 구조물에 적용할 수 있는 범위 내에서 벽체의 폭과 높이, 하중이 가해지는 면적 등에 대한 여러 가지 해석변수를 선정하여 이에 대한 유한요소해석이 이루어졌다. 이 연구는 사용상태에서 벽체의 장기거동을 파악하는 것을 연구범위로 하고 있으며, 따라서 하중이 가해지는 시점에서 콘크리트 재료는 탄성거동을 하는 것으로 가정하였다. 유한요소해석은 상용해석프로그램인 DIANA Ver. 8.1을 사용하였다.

3.2 벽체 실험체에 대한 유한요소모델

Fig. 4는 벽체 실험체의 유한요소 메쉬 분할을 나타낸 것이다. 실험체의 콘크리트 부분은 $2 \times 2 \times 2$ 가우스 적분점을 갖는 8점절 연속체요소(solid element)로 모델링 하였으며, Fig. 4의 왼편의 경우 2,336개, 오른편 실험체의 경우 3,520개의 요소가 사용되었다.

철근은 연속체요소에 매립된 선 요소(embed bar element)를 사용하였고 콘크리트와 철근 사이의 미끄럼(slip)은 고려하지 않았다. Fig. 4에서 굵은 선으로 표시된 부분은 철근으로 모델링 된 요소를 나타낸 것이다.

각 실험체의 윗면에 50mm 두께의 철재 가압판을 모델링 하였으며, 가압판 위에 일정한 크기의 응력이 가해

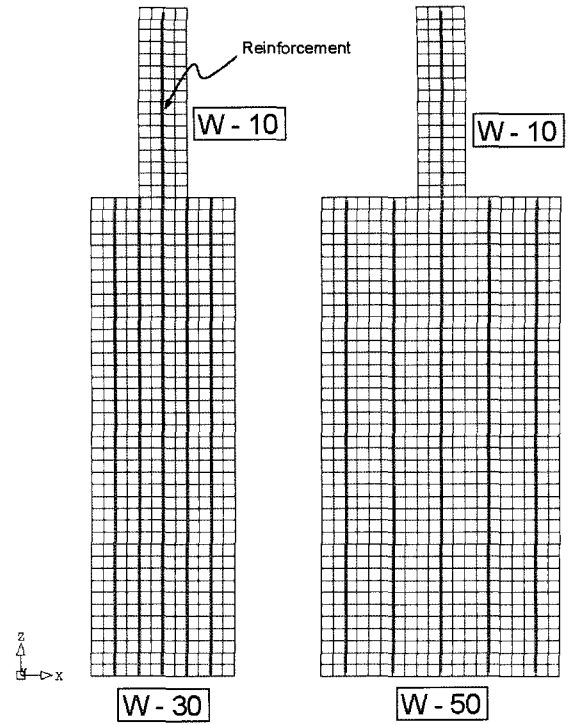


Fig. 4 Mesh refinement

지는 것으로 하중 조건을 묘사하였다. 또한 가압판과 콘크리트 사이의 계면은 Column friction 모델을 사용하여 모델링 하였으며, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\tau_{crit} = a + \mu p \quad (1)$$

여기서 τ_{crit} 은 부착강도를 의미하며, 계면에서 전단응력이 부착강도에 도달하면 미끄럼(slip)이 발생하게 된다. a 는 콘크리트와 강관사이의 점착력을 의미하며, μ 와 p 는 각각 마찰계수와 계면에 수직으로 작용하는 수직응력을 의미한다. 마찰계수의 경우 기존의 연구를 참조하여 0.2를 사용하였고⁶⁾, 점착력의 경우 일반적으로 매우 작은 값으로 이 연구에서 고려하지 않았다.

각 실험체의 밑면은 z 방향으로 변위가 고정되어 있는 것으로, 밑면에서 x 방향에 수직인 한 선이 x 방향으로 고정되어 있고, y 방향에 수직인 한 선이 y 방향으로 고정되어 있는 것으로 경계조건을 두었다.

해석에 사용된 탄성계수와 푸아송 비는 Table 3과 같다. 콘크리트의 크리프는 Fig. 3의 회귀분석결과를 사용하였다.

콘크리트의 크리프와 계면거동의 비선형 해석에 Newton-Raphson 방법을 사용하였다.

3.3 유한요소모델의 검증

실험체에 대한 유한요소모델의 검증을 위해 해석결과와 실험결과와의 비교가 이루어졌으며, Fig. 5와 같다. Fig. 5(a)의 경우 W-10 실험체에서 측정된 콘크리트의 변형률과 해석결과를 시간에 따라 비교한 것이다. Fig. 5(b)는

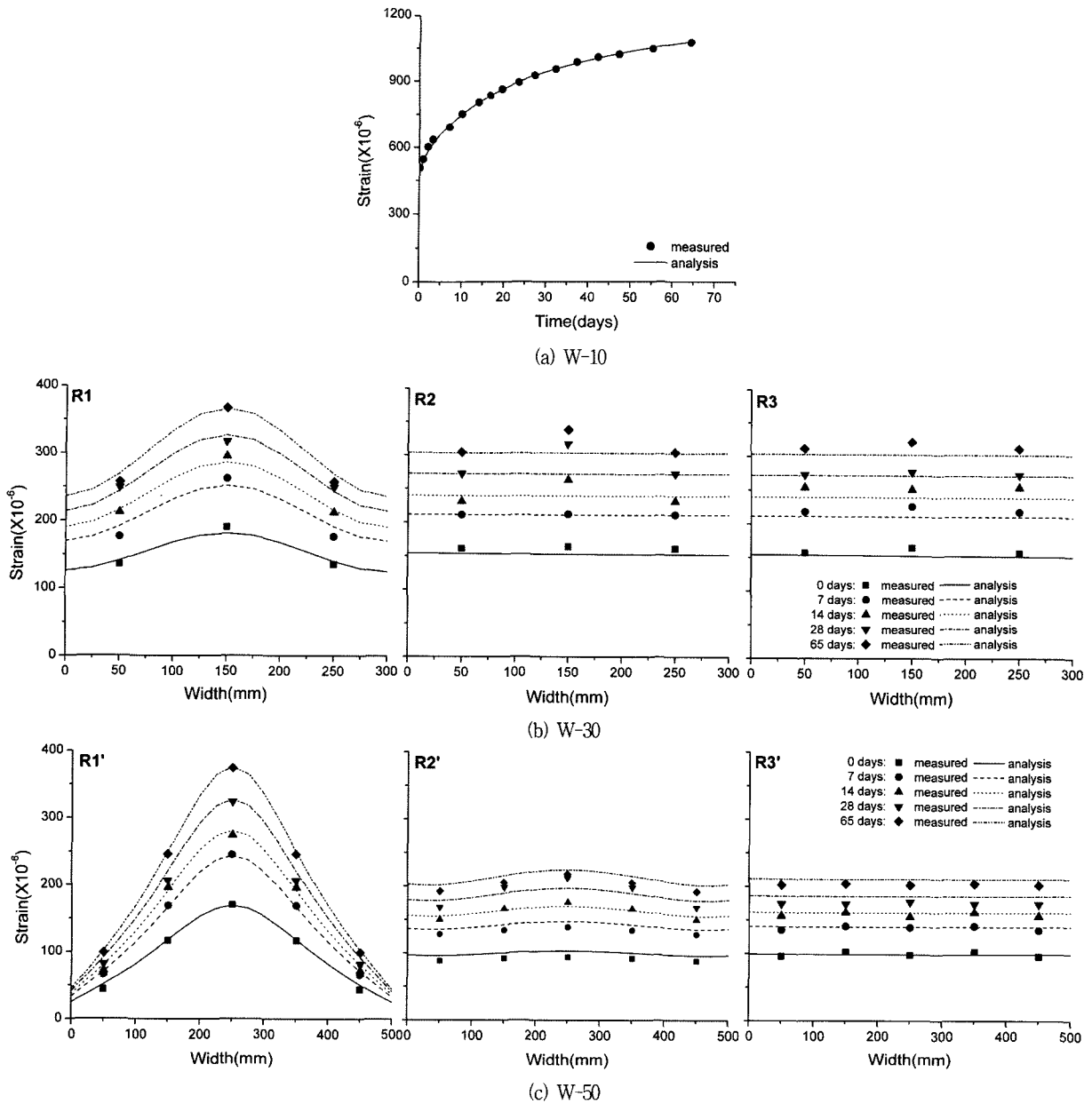


Fig. 5 Comparison of test results with F. E. analysis results for wall specimens

W-30에서 측정된 변형률로 Fig. 1에서 나타낸 R1, R2, R3 위치에서 시간에 따라 측정된 변형률과 해석결과로부터 얻은 시간에 따른 변형률 분포의 변화를 비교한 것이다. Fig. 5(c)의 경우도 Fig. 1의 R1', R2', R3' 위치에서 실험과 해석결과를 비교한 것이다. 해석결과는 실험결과를 매우 정확히 묘사하고 있으며, 이로부터 이 연구의 유한요소 모델링 과정과 해석에 사용된 변수 및 가정 등의 정확성 및 합리성이 검증되었다.

Fig. 5(b)와 (c)에서 R1과 R1' 위치에서 변형률 분포는 폭이 큰 W-50의 경우가 단면 내에서 보다 크게 변화하는 것으로 나타났다. 또한 R2'의 경우는 단면 내에서 다소의 비선형적 분포가 나타나고 있으나, R2의 경우는 거의 일정한 변형률 분포를 나타내었다. R3와 R3' 위치에서는 두 실험체 모두 단면 내에서 일정한 변형률 분포를 보였다.

실험과 해석결과로부터 하중이 가해지는 면적이 일정한 경우 벽체 폭의 크기에 따라 변형률 분포가 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 실제 구조물에서도 벽체의 높이나 폭 그리고 하중이 가해지는 면적에 따라 장기변형의 크기가 단면 내에서 다르게 나타날 것으로 판단된다. 따라서 이에 대한 여러 가지 변수를 선정하고 유한요소해석을 수행하여 벽체의 장기변형에 미치는 벽체의 폭과 높이 그리고 하중이 가해지는 면적에 따른 영향을 파악해 보고자 한다.

3.4 해석변수 선정 및 모델링

Fig. 6은 벽체의 일반적인 형상을 나타낸 것이다. 하중이 가해지는 폭(a), 벽체의 높이(h), 벽체의 폭(l)에 따라 벽체 내에 작용하는 응력 및 변형률 분포는 상이하다.

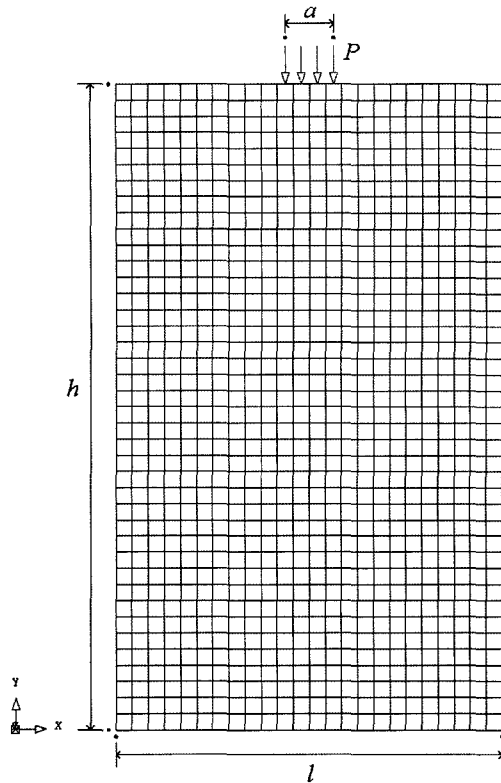


Fig. 6 Parameters for F. E. analysis of wall

이 연구는 구조물의 사용상태에서 장기거동을 범위로 하고 있고, 하중이 가해지는 시점에서 재료는 선형탄성거동을 나타내는 것으로 가정한다. 따라서 세 가지 변수 a 와 h 그리고 l 의 비율이 일정한 경우 응력 및 변형률의 분포 형태는 동일하며, 가해지는 하중의 크기에 따라 응력 및 변형률의 크기는 선형으로 비례한다. 벽체에 대한 해석변수로 l/a 와 h/a 의 범위는 각각 $1 \leq l/a \leq 21$, $5 \leq h/a \leq 30$ 이며, Table 4에서와 같이 l/a 의 경우 14개, h/a 의 경우 7개의 해석변수를 선정하였다.

l/a 가 1인 경우 벽체의 단면적과 하중이 가해지는 면적이 같은 경우로 기둥과 같은 응력상태를 의미한다. Fig. 6에서 하중(P)이 가해지는 폭 a 가 벽체에 연결된 보의 폭이라고 가정하였을 때, 보의 폭이 0.3m 인 경우 식(2)의 범위는 벽체의 폭을 최대 6.3m까지 고려하는 것이며, 식(3)의 범위는 벽체의 높이를 1.5m에서 9.0m까지 고려

하고 있다. 이는 벽체의 실제 크기를 포함하고 있는 범위로 볼 수 있다. 해석변수에 대해 2차원 평면요소를 사용하여 모델링 하였으며, 해석에 사용된 역학적 특성 및 크리프 특성은 실험체에 대한 유한요소해석에서 사용된 것과 동일한 값을 사용하였다. 벽체 내 철근은 없는 것으로 가정하였다.

하중의 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 벽체 윗면 중심부에 등분포 응력이 가해지는 것으로 모델링 하였고, 밑면은 y 방향으로 변위가 고정되어 있다는 조건으로 해석을 수행하였다. 옆면의 경우 x 방향으로 변위가 고정되어 있는 것으로 하였는데, 이는 벽체가 양 옆으로 연속적으로 이어지는 경우를 고려한 경계조건이다. 이외의 해석방법 및 조건은 실험체에 대한 해석과 동일하다.

4. 해석결과 및 유효폭 계수 제안

4.1 유효폭 계수

Fig. 5(b)와 (c)에서 응력 및 변형률은 벽체의 중심에서 가장 크게 나타나고 있으며, 따라서 벽체의 중심에서 축방향의 장기변형 또한 가장 클 것으로 판단된다. 그러므로 이 연구에서는 벽체 중심의 장기변형을 예측할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

Fig. 7은 이 연구에서 벽체의 장기거동 예측에 대한 새로운 방법으로 제안하고자 하는 유효폭 계수에 대한 개념을 나타낸 것이다. 벽체의 중심에서 축방향으로 임의의 위치에서 시간에 따른 변형률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\varepsilon(y, t)_c = \int_0^t d\sigma(y, t')_c J(t, t') \quad (2)$$

여기서 $\varepsilon(y, t)_c$ 는 벽체의 중심에서 축방향으로 임의의 위치에서 시간에 따른 변형률을 의미하며, $J(t, t')$ 은 크리프와 초기변형을 포함한 컴플라이언스 함수이다. $d\sigma(y, t')_c$ 는 시간 t' 에서 콘크리트에 가해지는 응력의 증분이다. 해석대상 벽체의 경우 작용하는 하중이 시간에 따라 변화하지 않으며, 내부에 철근을 고려하지 않아서 벽체 내 응력 재분배에 따른 응력 변화는 일어나지 않는다. 따라서 초기에 하중이 가해지는 시점을 t_1 이라고 했을 때, 식

Table 4 Effective width coefficient obtained from finite element analysis results

h/a \ l/a	$f(l/a, h/a)$													
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	9	12	15	18	21
5	1.00	0.709	0.577	0.504	0.461	0.433	0.414	0.393	0.384	0.379	0.383	0.383	0.383	0.383
7.5	1.00	0.694	0.550	0.469	0.417	0.383	0.359	0.328	0.311	0.291	0.287	0.287	0.287	0.287
10	1.00	0.687	0.537	0.451	0.397	0.359	0.332	0.296	0.276	0.246	0.237	0.235	0.235	0.235
15	1.00	0.680	0.525	0.434	0.375	0.334	0.305	0.264	0.239	0.201	0.186	0.179	0.176	0.174
20	1.00	0.677	0.519	0.426	0.365	0.322	0.291	0.248	0.221	0.178	0.160	0.151	0.146	0.143
25	1.00	0.675	0.515	0.420	0.358	0.315	0.282	0.238	0.210	0.165	0.144	0.134	0.127	0.123
30	1.00	0.673	0.512	0.417	0.354	0.310	0.277	0.232	0.202	0.156	0.134	0.122	0.115	0.111

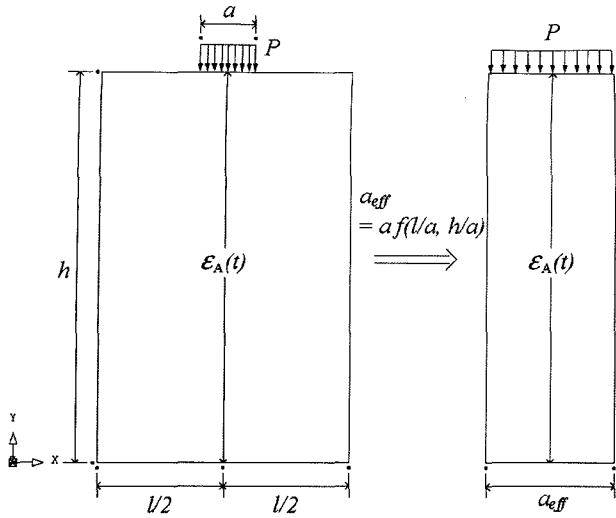


Fig. 7 Concept of effective width coefficient

(2)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\varepsilon(y, t)_c = \sigma(y, t)_c J(t, t_1) \quad (3)$$

여기서 $\sigma(y, t)_c$ 는 시간 t_1 에서 벽체의 중심에서 y 방향으로 임의의 위치에서 콘크리트에 작용하는 응력이다.

Fig. 7에서 $\varepsilon(t)_A$ 는 벽체의 중심에서 벽체의 높이 h 에 대한 평균적인 변형률로 다음과 같이 표현된다.

$$\varepsilon(t)_A = \left[\int_0^h \sigma(y, t)_c J(t, t_1) dy \right] / h \quad (4)$$

Fig. 7의 오른쪽 그림과 같이 단면 내 일정한 응력 분포를 갖고 $\varepsilon(t)_A$ 와 같은 크기의 변형을 일으키는 벽체를 가정할 수 있다. 가정된 벽체의 폭은 a_{eff} 이며, 이 연구에서 벽체의 유효폭으로 정의한다. 이 때 변형률 $\varepsilon(t)_A$ 는 다시 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$\varepsilon(t)_A = \frac{P(t_1) J(t, t_1)}{a_{eff} s} \quad (5)$$

여기서 s 는 벽체의 두께를 의미한다. 식(4)와 식(5)로부터 유효폭 a_{eff} 는 아래의 식과 같이 유도된다. 벽체의 두께 s 는 단위 두께로 고려되며, 유도과정에서 생략되었다.

$$a_{eff} = \frac{hP(t_1)J(t, t_1)}{\int_0^h \sigma(y, t_1)J(t, t_1)dy} \quad (6)$$

유효폭(a_{eff})은 벽체의 폭과 높이 그리고 하중이 가해지는 폭의 길이에 따라 변화하며, 유효폭과 하중이 가해지는 폭(a)과의 관계를 고려하여 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$a_{eff} = f(l/a, h/a)a \quad (7)$$

여기서 $f(l/a, h/a)$ 는 유효폭(a_{eff})과 하중이 가해지는 폭(a)의 관계를 나타내는 함수이며, 이 연구에서 유효폭 계수로 정의한다. 식(6)과 식(7)에서 유효폭 계수는 다음의 식

으로 유도된다.

$$f(l/a, h/a) = \frac{hP(t_1)J(t, t_1)}{a \int_0^h \sigma(y, t_1)_c J(t, t_1) dy} \quad (8)$$

앞에서 선정된 해석변수에 대한 유한요소해석결과로부터 유효폭 계수가 계산되었으며, 이에 대한 회귀분석을 실시하여 수치해석의 방법을 사용하지 않고도 벽체의 장기변형을 정확하게 예측할 수 있는 유효폭 계수를 제안하고자 한다.

4.2 회귀분석 및 유효폭 계수의 제안

Table 4는 선정된 해석변수에 대해 유한요소해석결과로부터 계산된 유효폭 계수를 나타낸 것이다. 다음의 식으로 Table 4의 유효폭 계수에 대한 회귀분석을 수행하였다. 이 연구에서 사용한 최적화 기법은 비선형 회귀분석에 효과적인 것으로 알려진 Maquardt-Levenberg 방법⁷⁾이다.

$$f(l/a, h/a) = \left[A(h/a) + \frac{B(h/a)}{(l/a)^{C(h/a)}} \right]^{-1} \quad (9)$$

Table 4의 결과와 회귀분석 결과를 Fig. 8에 나타내었으며, 회귀분석 결과가 매우 정확히 유한요소해석으로부터 얻은 유효폭 계수를 모사하고 있음을 알 수 있다. Fig. 9에서도 회귀분석 결과의 정확성을 확인할 수 있으며, 상관관계수(R^2)는 0.998이었다.

회귀분석결과로부터 얻은 식(9)의 $A(h/a)$, $B(h/a)$, $C(h/a)$ 는 다음과 같다.

$$A(h/a) = [0.58 + 0.43(h/a)]^{-1} \quad (10)$$

$$B(h/a) = 1.13 - \frac{1.10}{\sqrt{(h/a)}} \quad (11)$$

$$C(h/a) = 0.96 + \frac{3.70}{\sqrt{(h/a)}} \quad (12)$$

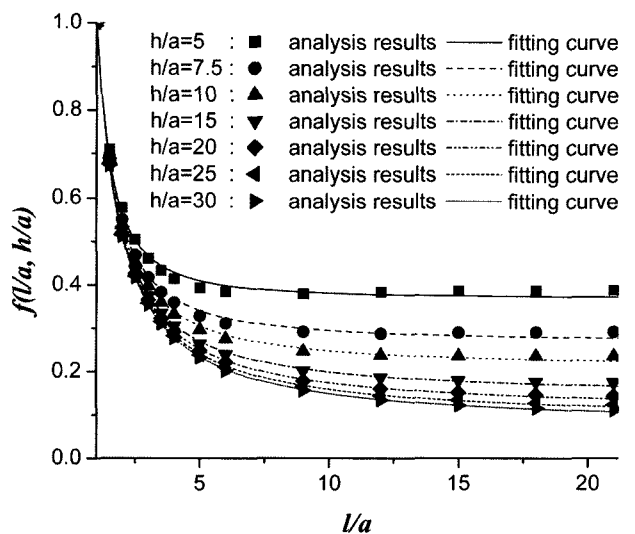


Fig. 8 Effective width coefficient obtained from F. E. analysis and regression results

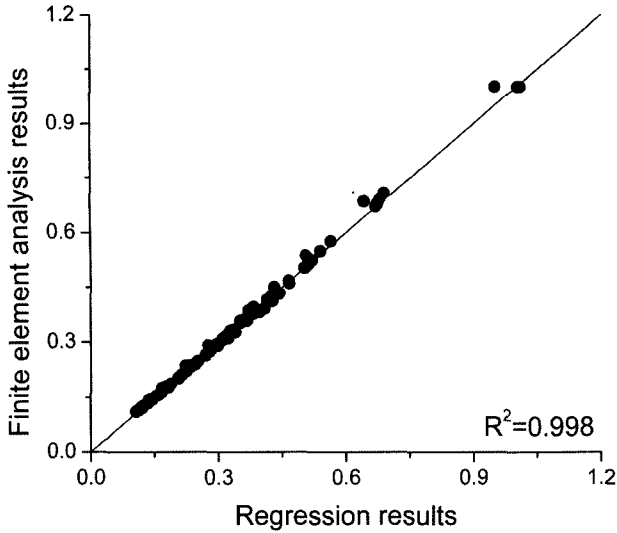


Fig. 9 Comparison between two effective width coefficients obtained from F. E. analysis and regression results

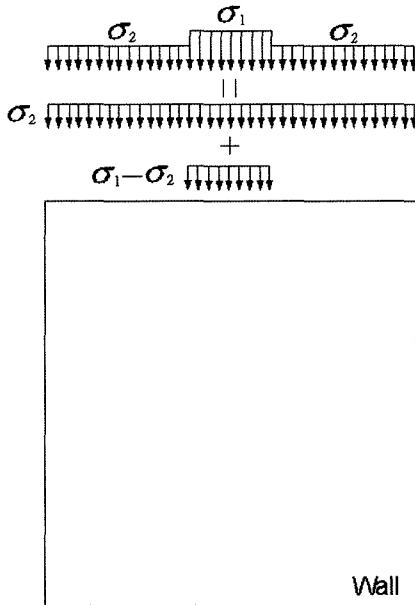


Fig. 10 Schematic description of real loading state

Fig. 6에서 나타낸 응력상태는 실제 구조물에서 발생하기는 어려운 것으로 판단된다. 그러나 벽체의 장기변형을 예측하는 데 있어 발생하는 어려움은 벽체의 전 단면에 일정한 응력 분포를 갖지 않고 일부분에 응력이 집중될 수 있기 때문이다. 따라서 장기거동 해석에 있어 중첩의 원리를 적용하여, 일부는 일정한 응력이 작용하는 것으로 고려하고 나머지 부분은 이 연구의 결과를 활용하여 집중응력이 가해지는 부분으로 나누어 고려할 수 있을 것으로 사료된다. Fig. 10에서 보듯이 σ_1 과 σ_2 의 수직응력이 작용하는 벽체의 경우 σ_2 의 일정한 응력이 작용하는 부분과 $\sigma_1 - \sigma_2$ 의 응력이 중심부에 집중되는 것으로 나누어 고려할 수 있을 것이다.

구조물을 설계할 때 구조물을 구성하는 하나의 부재에 대해 수치해석을 통해 장기변형을 예측하는 것은 어려운

일이다. 이 연구에서 제안하고 있는 유효폭 계수를 사용할 경우 장기거동을 예측할 때 벽체 부재를 일정한 응력이 가해지는 단순 압축부재로 고려할 수 있으며, 따라서 구조물 전체에 대한 해석 또한 단순화 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이 연구의 결과는 제한적인 실험에 의해 뒷받침 되고 있으며, 앞으로 많은 실험적 연구를 통해 제안된 유효폭 계수에 대한 검증 및 보완이 이루어져야 할 것이다.

5. 결 론

이 연구에서 수행한 실험과 유한요소 해석으로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 축하중을 받는 벽체에서 단면 내 일부분에 집중응력이 가해지는 경우 장기거동을 예측할 수 있는 새로운 방법으로 유효폭 계수에 대한 개념을 도입하였다.
- 2) 실제 벽체의 크기 및 하중이 가해지는 면적을 해석 변수로 하여 유한요소해석을 수행하였고, 해석결과로부터 유효폭 계수를 계산하였다. 계산된 유효폭 계수에 대한 회귀분석을 수행하여 실무에서 유용하게 활용할 수 있는 유효폭 계수 산정식을 제안하였다.
- 3) 이 연구에서 사용된 유한요소모델이 실제의 거동을 정확히 모사할 수 있다는 것이 실험을 통해 검증되었으며, 이는 제안된 유효폭 계수 산정식의 신뢰성 또한 입증하고 있다.

참고문헌

1. 권승희, 김진근, “하중을 받는 CFT 기둥의 장기거동에 관한 연구”, 콘크리트학회논문집, 13권 1호, 2001, pp.77~85.
2. 권승희, 김태환, 이태규, 김윤용, “하중을 받는 각형 CFT 기둥의 장기거동에 관한 연구”, 콘크리트학회논문집, 17권 2호, 2005, pp.281~290.
3. 김선영, 이태규, 김진근, 이수곤, “건조수축을 고려한 철근콘크리트 기둥과 동바리의 축력 재분배 해석법”, 콘크리트학회논문집, 13권 6호, 2001, pp.629~636.
4. 김선영, 김진근, 김원중, “고층건물 기둥의 부등축소량 해석 및 보정을 위한 시스템 개발”, 콘크리트학회 논문집, 14권 3호, 2002, pp.291~298.
5. ACI Committee 209, *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*, ACI 209 R-92(American Concrete Institute, Detroit, 1992, minor update of the original 1972 version).
6. Johansson, M, and Gulltoft, K, “Structural Behavior of Slender Circular Steel-Concrete Composite Columns under Various Means of Load Application,” *Steel and Composite Structures*, Vol.1, No.4, 2001, pp.393~410.
7. Brown, K. M., *Derivative-free Analogues of the Levenberg, Marquardt and Gauss Algorithms for Non-linear Least Square Approximations*, IBM, Philadelphia Scientific Center Technical Report, No.320-2994, 1970.

요약 이 연구의 목표는 벽체 폭의 일부분에 하중이 집중되는 경우에 대해 장기변형을 정량적으로 예측할 수 있는 방안을 모색하는 것이다. 이를 위해 3가지 변수에 대한 장기거동 실험과 각 실험체에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석 결과는 실험결과를 정확히 모사하였으며, 사용된 유한요소모델의 정확성이 검증되었다. 이를 바탕으로 실제의 구조물에 적용할 수 있는 범위 내에서 벽체의 폭과 높이, 하중이 가해지는 폭 등에 대한 여러 가지 변수를 선정하여 이에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 여러 가지 형상의 벽체에 대해 장기거동을 정량적으로 예측할 수 있는 방법으로 유효폭 계수에 대한 개념을 도입하였으며, 유한요소해석 결과로부터 각 해석변수에 대한 유효폭 계수를 계산하였다. 계산된 유효폭 계수에 대해 회귀분석을 수행하였고, 실무에서 유용하게 활용할 수 있는 유효폭 계수 산정식을 제안하였다.

핵심용어 벽체, 장기거동, 실험, 유한요소해석, 유효폭 계수