

# 剪斷壁을 가진 프레임의 構造解析에 관한 研究

## Structural Analysis of Frames with Shear Walls

李	東	根*
Lee,	Dong	Guen
姜	錫	奉**
Kang,	Suk	Bong

### Abstract

In this paper, an accurate model for structural analysis of frames with shear walls is introduced. Static and dynamic analysis of two example structures has been performed using the computer program SWAN which employs the newly developed 12 degrees of freedom plane stress element and the results are compared to those obtained using SAPIV. The 12 degrees of freedom element resulted in improved shear stress distribution in wall elements and bending moment in beam elements.

### 要 旨

본 연구에는 전단벽을 가진 프레임의 구조해석을 위한 개선된 해석모델이 소개되었다. 새로이 개발된 12 자유도를 가진 plane stress 요소와 보 요소를 사용하는 컴퓨터 프로그램 SWAN 을 이용하여 두 개의 2 차원 구조물의 예에 대한 정적 및 동적해석을 수행하고 그 결과를 널리 사용되고 있는 구조해석용 컴퓨터 프로그램 SAPIV 를 사용해서 얻은 결과와 비교·검토한 결과 12 자유도 요소를 사용함으로써 전단벽 요소내의 전단응력의 분포와 전단벽에 연결된 보 요소의 휨 및 전단응력 등이 상당히 정확하게 얻어질 수가 있음이 밝혀졌다.

### 1. 序 論

經濟가 發展하고 建物建築을 위한 地地는 제한되어 있어서 요즈음 사무소 건물은 물론 아파트 건물까지도 高層化되는 추세에 있다. 高層建物の 構造는 바람, 지진 등에 의한 橫力의 영향을 고려하여 剪斷壁을 사용하게 되는 경우가 많다. 또한 요즈음 高層 아파트의 建設에는 턴넬 폼 공법이 많이 쓰이므로 剪斷壁의 사용은 더욱

두드러지게 된다.

剪斷壁을 가진 構造物의 解析을 위하여 주로 사용되어온 構造物의 靜的 解析方法에는 plane stress 요소를 사용하는 有限要素法과 剪斷壁을 기등으로 假定하는 방법 등의 近似解析 方法이 있다. 그러나 近似解析 方法은 解析結果의 正確性이 결여되므로 高層構造物의 解析方法으로 사용하기에는 문제점이 많으며 기존의 plane stress 요소를 사용할 경우 많은 수의 요소를 사용해야 正確한 結果를 얻을 수 있으므로 입력 데이터 작

\* 正會員·韓國科學院 助敎授, 土木工學科

\*\* 蔚山大學校 工科大學 助敎授, 建築工學科

성이 번거롭고 經濟的이지 못하다. 특히 構造物의 動的 解析은 구조물의 固有振動數를 정확하게 알아내지 않으면 解析結果의 신뢰도가 낮아지므로 보다 正確한 解析方法이 필요하게 된다. 따라서 剪斷壁을 가진 構造物의 靜的 解析 뿐만 아니라 動的 解析에서 經濟的이고 正確한 結果를 얻을 수 있는 有限要素를 이용하여 고층건물의 構造解析 및 設計의 質을 높일 수 있는 解析方法이 요구되고 있다.

## 2. 剪斷壁의 解析을 위한 有限要素

오즈음 일반적으로 사용되는 plane stress 요소들은 다음과 같은 이유로 剪斷壁의 解析에는 적합하지 못하다.

첫째, 4절점 요소는 正確性을 기하기 위하여 많은 수의 요소를 사용해야 한다.

둘째, 각 節點의 變位는 그림 1과 같이 두 방향의 移動으로 나타내며 回轉은 포함되어 있지 않으므로 프레임과의 직접 結合이 불가능하다.

셋째, 프레임의 解析에 사용되는 beam 요소의 變形이 3차 곡선으로 표현되므로 變形의 適合條件을 만족시키기 위해서는 剪斷壁 요소의 각 邊에 4개의 節點씩을 가져야 하므로 計算費用이 급격히 상승하게 된다.

이러한 조건들을 만족시키기 위하여 그림 2에 보여진 바와 같은 有限要素를 생각해 볼 수가 있다.

이 요소는 4개의 節點을 가지는 直四角形 要素로서 절점마다 2개의 移動自由도와 한 개의 回轉自由도를 가지는 12자유도 요소가 된다.

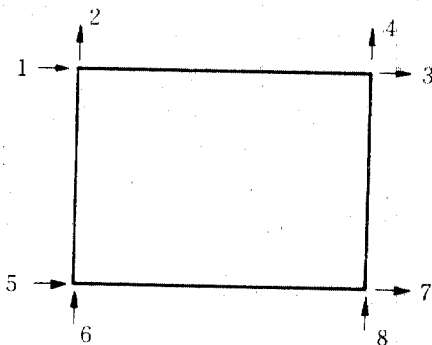


그림 1. 일반적인 8자유도 plane stress 요소.

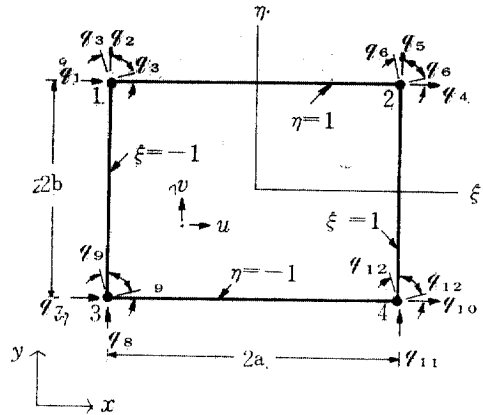


그림 2. 12자유도 plane stress 요소.

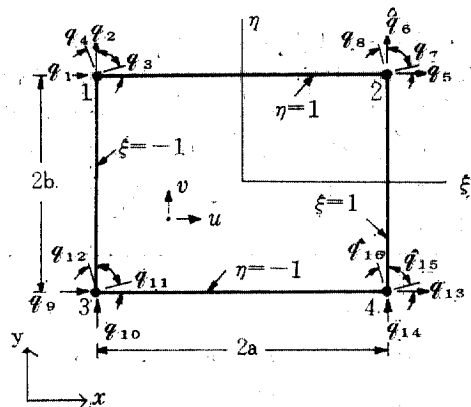


그림 3. 16자유도 plane stress 요소.

要素座標係  $\xi$ 와  $\eta$ 는 構造物座標係의  $x$ 와  $y$ 를 요소의 크기로 나눈  $x/a$ ,  $y/b$ 로 표시되며, 要素내의 각점의 變位는  $u$ ,  $v$ 로 표시된다.

그러나 要素 剛性매트릭스 유도에 편의를 위해 그림 3에 보여진 바와 같은 16자유도 要素를 먼저 생각할 필요가 있으며 그 때 要素내의 變位를 나타내는 함수는 식(1)과 같으며,

$$\begin{aligned}
 u &= c_1 + c_2\xi + c_3\eta + c_4\xi\eta + c_5\eta^2 + c_6\xi\eta^2 \\
 &\quad + c_7\eta^3 + c_8\xi\eta^3 \\
 v &= c_9 + c_{10}\xi + c_{11}\eta + c_{12}\xi\eta + c_{13}\xi^2 \\
 &\quad + c_{14}\xi^2\eta + c_{15}\xi^3 + c_{16}\xi^3\eta
 \end{aligned} \quad (1)$$

이러한 變位函數를 사용하여 要素의 剛性매트릭스를 유도하면 표 1과 같이 된다.

이러한 12자유도 plane stress 要素는 要素내의 變位를 나타내는 shape function 및 節點自



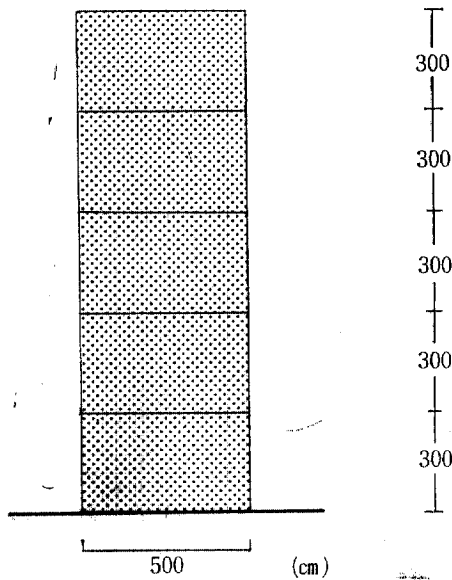


그림 4. 구조물 A

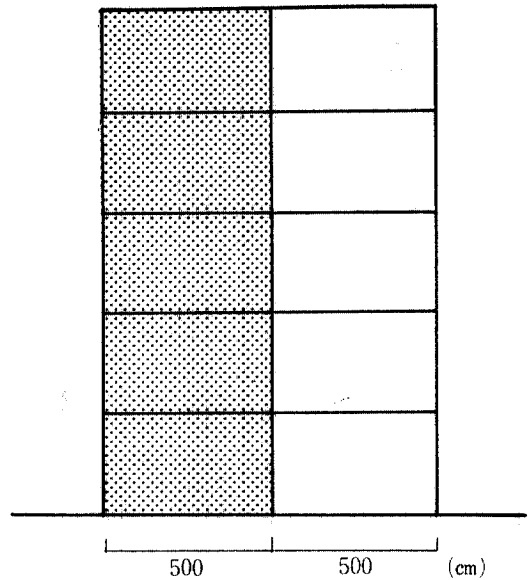
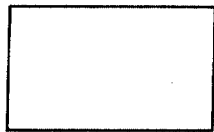
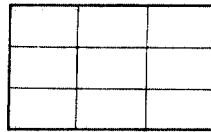


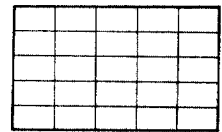
그림 5. 구조물 B



(a) 해석모델 A



(b) 해석모델 B



(c) 해석모델 C

그림 6. 한 층의 전단벽에 대한 해석모델

### 3.1. 靜的 解析

본 연구에서 제안한 12 자유도 요소를 사용한 解析結果와 SAPⅣ에 의한 해석結果를 비교·검토하기 위하여 그림 4, 5와 같은 두 종류 構造物의 왼쪽 最上層 節點에 100 ton의 節點荷重이 작용할 때 각각의 構造物에 발생하는 각층 왼쪽 節點의 水平變位, 剪斷壁 兩端의 垂直方向應力, 剪斷壁 兩端과 中央部의 剪斷應力과 구조물 B에서는 剪斷壁에 연결된 보 兩端의 휨모멘트를 비교하였다.

#### (1) 水平變位

16 자유도 요소에서 12 자유도 요소를 유도할 때 각 절정에서 두 개의 회전자유도를 하나의 회전자유도로 묶었기 때문에 절정부근의 전단 변형이 억제되는 효과가 있어서 12 자유도 요소

를 사용한 結果가 SAPⅣ를 사용한 結果보다 構造物 A, B에서 모두 약간 적으나 큰 차이는 없으므로 變位の 예측에는 어느 結果를 사용해도 큰 문제점은 없다.

#### (2) 垂直方向 應力

水平荷重이 작용하는 剪斷壁 上層部에서 SAPⅣ에 의한 解析結果는 해석모델 A와 해석모델 B, C에 의한 結果가 상당한 차이가 있는데 SW-AN에 의한 解析結果는 細分모델인 해석모델 B, C를 사용한 SAPⅣ의 結果에 가깝다.

剪斷壁 下部에서는 SWAN의 解析結果가 SAPⅣ의 結果보다 약간 크나 安全側에 속하고 剪斷壁의 다른 부분에서는 거의 비슷한 結果가 나타남을 알 수 있다.

#### (3) 剪斷應力

표 3. 靜的 解析結果

층	위 치	구 조 물 A				구 조 물 B					
		SAP IV			SWAN	SAP IV			SWAN		
		해석모델 A	해석모델 B	해석모델 C	해석모델 A	해석모델 A	해석모델 B	해석모델 C	해석모델 A		
수평변위 (cm)	5	좌	5.49	5.66	5.73	5.42	2.97	2.96	2.95	2.83	
	4	좌	3.83	3.90	3.92	3.78	2.10	2.09	2.08	2.00	
	3	좌	2.40	2.44	2.45	2.36	1.33	1.32	1.32	1.26	
	2	좌	1.18	1.22	1.23	1.17	0.68	0.68	0.68	0.64	
	1	좌	0.34	0.37	0.38	0.34	0.21	0.22	0.22	0.20	
수직응력(전단벽) (t/cm <sup>2</sup> )	5	좌	0.024	0.054	0.065	0.050	0.001	0.017	0.018	0.018	
		우	-0.024	-0.012	-0.010	0.002	-0.011	-0.006	-0.005	-0.003	
	4	좌	0.072	0.074	0.074	0.073	0.037	0.037	0.037	0.037	
		우	-0.072	-0.070	-0.070	-0.071	-0.035	-0.033	-0.032	-0.032	
	3	좌	0.120	0.120	0.120	0.120	0.062	0.061	0.060	0.061	
		우	-0.120	-0.120	-0.120	-0.120	-0.059	-0.057	-0.057	-0.056	
	2	좌	0.168	0.168	0.168	0.168	0.088	0.086	0.086	0.086	
		우	-0.168	-0.168	-0.168	-0.168	-0.084	-0.081	-0.081	-0.081	
	1	좌	0.216	0.215	0.215	0.221	0.115	0.113	0.112	0.115	
		우	-0.216	-0.215	-0.215	-0.221	-0.111	-0.107	-0.107	-0.109	
전단응력(전단벽) (t/cm <sup>2</sup> )	5	좌	0.013	0.004	-0.001	-0.002	0.013	0.009	0.006	0.004	
		중	0.013	0.026	0.026	0.020	0.013	0.015	0.015	0.017	
		우	0.013	0.010	0.007	0.002	0.013	0.015	0.013	0.014	
	4	좌	0.013	0.009	0.006	-0.002	0.013	0.010	0.008	0.002	
		중	0.013	0.019	0.020	0.020	0.013	0.015	0.015	0.018	
		우	0.013	0.011	0.008	0.002	0.013	0.015	0.013	0.013	
	3	좌	0.013	0.010	0.007	0.000	0.013	0.011	0.009	0.004	
		중	0.013	0.019	0.020	0.020	0.013	0.015	0.015	0.018	
		우	0.013	0.010	0.007	-0.000	0.013	0.014	0.012	0.010	
	2	좌	0.013	0.010	0.007	0.000	0.013	0.011	0.009	0.004	
		중	0.013	0.019	0.019	0.020	0.013	0.016	0.016	0.018	
		우	0.013	0.010	0.007	0.000	0.013	0.013	0.011	0.009	
	1	좌	0.013	0.010	0.007	0.009	0.013	0.012	0.010	0.011	
		중	0.013	0.020	0.019	0.018	0.013	0.016	0.016	0.018	
		우	0.013	0.010	0.007	0.009	0.013	0.013	0.011	0.012	
	합 모 멘 트 (보) (t/cm <sup>2</sup> )	5	좌					1163.	1471.	1530.	1729.
			우					622.	650.	655.	658.
		4	좌					1423.	1738.	1826.	2058.
		우					1092.	1138.	1151.	1169.	
3		좌					1259.	1545.	1625.	1842.	
	우					955.	996.	1009.	1032.		
2	좌					973.	1204.	1269.	1447.		
	우					742.	780.	791.	811.		
1	좌					566.	715.	757.	871.		
	우					442.	471.	479.	486.		

SAPⅣ에 의한 剪斷壁 中央部の 剪斷應力은 해석모델 A를 사용하면 구조물 모든 층에서 平均剪斷應力에 해당되며, 해석모델 B, C에 의한 결과는 水平荷重이 작용한 最上層에서 平均剪斷應力보다 큰 應力이 발생하였고 다른 層에서는 平均剪斷應力의 1.5배에 가까운 應力이 發生하였다. 그러나 SWAN에 의한 결과는 最下層을 제외한 나머지 층에서 平均剪斷應力의 1.5배에 해당하는 應力을 얻을 수 있었다.

剪斷壁 兩端에서의 剪斷應力은 쉼이 되어야 하는데 해석모델 A를 사용한 SAPⅣ의 결과는 平均剪斷應力에 해당하므로 상당히 不正確하고 細分모델인 해석모델 B, C를 사용한 결과는 SWAN의 결과보다 약간 더 큰 剪斷應力이 발생한다.

#### (4) 보의 휨모멘트

그림 5의 構造物 B에서 剪斷壁에 연결된 보에 발생하는 휨모멘트는 SAPⅣ에 의하면 보의 左端에서 해석모델 A에 의한 결과가 해석모델 B, C에 의한 결과보다 상당히 적게 발생하게 되는데, 이것은 SAPⅣ의 plane stress 요소가 8 자유도 요소이므로 回轉에 관한 自由度가 없어, 보 요소의 自由度와 一致하지 않으므로 進단벽과 보의 變形適合條件을 만족시키지 못하는 데서 비롯된다고 볼 수 있다. 모델 C와 같은 細分된 모델을 사용하면 SAPⅣ에 의해서도 보다 精確한 결과를 얻을 수 있으나 構造物解析에 나타나 는 全體 自由度가 매우 많아지므로 불리해진다.

SWAN에 의한 결과는 SAPⅣ에 의한 결과보다 크나 細分모델을 사용한 SAPⅣ의 결과에 近似하게 나타났다. 보의 右端에서는 SAPⅣ에 의한 결과 중에서 모델 A에 의한 결과와 모델 B, C에 의한 결과의 차이는 左端에서 보다는 상당히 줄었으며 SWAN의 결과는 보 左端에서 처럼 SAPⅣ의 결과보다 약간 더 크다.

#### 3.2. 動的 解析

바람이나 지진 등의 動的 荷重에 의한 構造物의 精確한 舉動을 파악하기 위해서는 動的 解析이 요구되는데, 構造物의 振動週期和 mode shape만 구하면 線型動的 解析을 위한 mode 중첩법을 사용할 수가 있고 非線型動的 解析을 위한 time integration 법에서도 構造物의 振動週期가 가장 중요한 因子로 작용하므로 본 연구에서는 靜的 解析의 예에 사용된 두 종류 구조물의 세 가지 모델에 대한 基本振動週期和 그에 대응하는 mode shape의 水平變位 成分을 비교해 봄으로써 12自由度 要素를 사용한 解析結果의 正確性을 검토해 보기로 한다.

표 4에서 알 수 있는 바와 같이 SWAN에 의한 결과는 같은 수의 要素를 사용하며 얻은 SAPⅣ의 결과보다 더 正確하며 細分된 要素를 사용하여 얻은 SAPⅣ의 결과와 비슷해 짐을 알 수 있다. 따라서 12自由度 要素를 사용하면 正確도가 높은 動的 解析을 經濟的으로 수행할 수 있음을 알 수 있다.

표 4. 動的 解析結果

	층	구조물 A				구조물 B			
		SAPⅣ			SWAN	SAPⅣ			SWAN
		해석모델 A	해석모델 B	해석모델 C	해석모델 A	해석모델 A	해석모델 B	해석모델 C	해석모델 A
Frequency (Cycle)		7.694	7.979	7.985	7.750	6.676	6.850	6.868	6.850
기본진동수기 (Sec.)		0.130	0.125	0.125	0.129	0.150	0.146	0.146	0.146
Mode Shape	5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	4	0.732	0.739	0.741	0.733	0.743	0.750	0.750	0.745
	3	0.471	0.483	0.485	0.473	0.489	0.498	0.499	0.491
	2	0.241	0.253	0.255	0.243	0.259	0.268	0.269	0.261
	1	0.073	0.082	0.083	0.073	0.085	0.091	0.092	0.084

#### 4. 結 論

剪斷壁을 가진 두 종류 構造物의 靜的 및 動的 解析을 통해서 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

(1) 12 自由度 plane stress 요소는 4 개의 節點에 回轉自由度가 있어 보 요소와의 變形適合條件을 만족시키므로 보 要素에 直接 結合이 可能하다.

(2) 剪斷壁 解析을 위해 12 自由度 要素를 사용하면 SAPW를 사용하는 경우의 細分된 해석 모델보다 構造物의 全體 自由度가 적으며 더욱 正確한 解析結果(變位, 應力分布 및 固有振動週期 등)를 얻을 수 있으므로 대규모 구조물의 經濟的인 解析이 可能하게 된다.

#### 謝 辭

本 論文이 이루어지도록 研究費를 支援해 준 韓國科學財團에 깊은 謝意를 표한다.

#### 參 考 文 獻

1. W. Weaver, Jr., P.R. Johnston, *Finite Element*

*for Structural Analysis*, Prentice-Hall, Inc., 1984.

2. Cook, R.D., *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, Wiley, New York, 1981.

3. R.B. Barder, *Refined Rectangular Finite Element for Plane Stress Analysis*, Stanford University, 1970.

4. Zienkiewicz, O.C., *The Finite Element Method*, McGraw-Hill, Ltd., London, 1977.

5. W. Weaver, Jr., Dong-Guen Lee, G. Derbalian, *Finite Element for Shear Walls in Multistory Frames*, *J. of ASCE*, Vol. 107, No. ST7, July, 1981.

6. 이 동근, 강 석봉, 전단벽을 가진 프레임의 해석을 위한 유한요소, 대한건축학회 논문집 제 5권 제 2호, 1985.

7. Timoshenko, S.P., W. Weaver, Jr., D.H. Young, *Vibration Problems in Engineering*, Wiley, 1974.

8) R.W. Clough, J. Penzien, *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill, Ltd., 1975.

9. Roy R. Craig, Jr., *Structural Dynamics*, Wiley, 1981.

(接受 : 1986. 3. 18)