

# 전단벽 모형화 방법에 따른 구조해석 신뢰성에 대한 고찰

정성진, 박세희\*  
한남대학교 건축공학과

## Development of Stiffness Estimation Algorithm for Nonlinear Static Analysis of Bilinear Material Model

Sung-Jin Jung, Se-Hee Park\*

Division of Architectural Engineering, Hannam University

**요약** 구조설계 실무 현장에서의 구조해석 모델링 방법을 조사해 보면, 대부분의 경우, 삼차원 구조해석을 위해 슬래브를 판요소를 이용한 메쉬의 형태로 모형화 하고, 전단벽을 셸요소 또는 벽요소를 사용하여 모형화 하고 있다. 여기서 주목할 점은 해석모형 작성의 편의성을 위하여 전단벽을 층과 층 및 기둥선과 기둥선 사이에 존재하는 한 개의 요소로 모형화 한다는 것이다. 이와 같은 모형화 방법은 사용되는 컴퓨터 프로그램에 따라 해석 오류를 발생시킬 수 있으며, 이러한 오류는 해석 결과의 신뢰성을 저하시키게 된다. 따라서 구조해석의 신뢰성을 확보하기 위해서는 이러한 오류가 발생하는 원인을 조사하고 합리적인 모형화 방법을 찾기 위한 연구가 필요하다. 원인 분석을 위한 비교 대상 해석 프로그램은 MIDAS와 SAP2000 및 neoMAX등과 같은 상용프로그램과 요소의 강성을 추측하기 위해 연구용인 sNs를 사용하였다. 본 연구에서는, 구조해석 실무현장에서 사용하고 있는 전단벽 모형화 방법에 따른 해석오류의 원인들을 분석해 보고자 한다. 또한 이러한 분석 결과를 바탕으로 전단벽 모형화를 위한 몇 가지 고려사항들을 제시하고자 한다.

**Abstract** When structural analysis modelling methods of practical fields are investigated, a slab is generally modeled by a finite element mesh using plate elements and a shear wall is modeled using a shell element or wall element for 3-D structural analysis. The point worthy of notice in this practice is that a shear wall is modelled using only one wall or shell element divided by floors and column lines to produce structural models. The modeling method like this can cause analysis errors according to the type of computer programs in use, and these errors reduce the reliability of the analysis results. Therefore, to secure the reliability of structural analysis, studies of the causes of errors and finding reasonable modeling methods are necessary. In this study, the causes of analysis errors according to the modelling methods of a shear wall, which are used in practical fields, were investigated and some considering matters for modelling a shear wall are presented to reduce the analysis errors on these analysis results.

**Keywords** : Analysis Error, Analysis Model, Computer Program, Shear Wall, Wall Element

### 1. 서론

구조설계 실무 현장에서의 구조해석방법을 조사해 보면, 초고층건물과 같은 대형구조물의 경우에도 삼차원해석을 수행하는 것이 일반적이다. 대부분의 경우, 삼차원 해석을 위해 슬래브를 판요소(plate element)를 사용하여

모형화 하고, 전단벽을 셸요소(shell element) 또는 벽요소(wall element)를 사용하여 모형화 하고 있다.

여기서 주목할 점은, 해석모형 작성 상의 편의성을 위하여 전단벽을 층과 층 및 기둥선(column line)과 기둥선 사이에 존재하는 한 개의 요소로 모형화 한다는 점이다. 이와 같은 모형화 방법을 택할 경우, 해석 시 사용

본 논문은 한남대학교 교비학술연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 2016A133

\*Corresponding Author : Se-Hee Park(Hannam Univ.)

Tel: +82-10-2990-7820 email: destiny2021@naver.com

Received January 2, 2017

Revised (1st January 25, 2017, 2nd February 8, 2017, 3rd February 14, 2017)

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

되는 컴퓨터 프로그램에 따라 해석 결과의 오류가 발생할 가능성이 존재하며 이러한 오류는 해석결과의 신뢰성을 저하시키게 된다.

따라서 본 연구에서는, 구조해석 실무현장에서 사용하고 있는 모형화 방법에 따라 전단벽을 모형화하였을 때 어떠한 문제점들이 발생하는지 분석해 보기로 한다. 또한 이러한 분석 결과를 바탕으로 향후 전단벽 해석을 위한 유한요소 적용방향 등을 제시하고자 한다.

## 2. 전단벽 해석을 위한 이론적 고찰

전단벽 해석을 위한 연구들은, 대부분 유한요소개발과 관련이 있으며[1], 모형화 방법에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 전단벽 해석을 위한 모형화 방법을 정립하기 위해 전단벽 해석과 관련된 제반이론을 고찰해보기로 한다. 구조실무에서 전단벽 해석을 위해 가장 많이 사용되는 요소는 Fig. 1과 같은 6 자유도(degree of freedom, 이하 d.o.f) 평면요소이다. 6 개의 자유도를 조합할 경우 다양한 종류의 요소를 생성할 수 있는데, 자유도 조합에 따른 요소들의 종류는 Table 1과 같다.

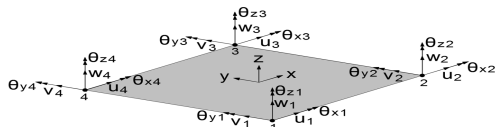


Fig. 1. Plane Element with 6 d.o.f

Table 1. Element types according to d.o.f combination

d.o.f	element
u, v	• plane stress element etc.
u, v, $\theta_z$	• plane stress element with rotational stiffness
w, $\theta_x$ , $\theta_y$	• plate bending element
u, v, w, $\theta_x$ , $\theta_y$	• plate element • shell element
u, v, w, $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	• same as 5 d.o.f element

전단벽의 주요한 역할은 면내강성을 가지고 횡력에 저항하는 것이므로, Table 1의 요소들 중 면외자유도를 갖는 휨판요소를 제외한 모든 요소들은 전단벽 해석에 적용될 수 있다. 따라서 전단벽 해석 시 평면응력요소를 사용하는 것은 타당성이 있다. 그러나 이 경우, 전단벽과 보가 만나는 절점에서 변위적합조건(displacement compatibility condition)을 만족시킬 수 없는 한계성을

지니고 있다.

면내회전강성을 갖는 평면응력요소는 면내이동자유도만 갖는 평면응력요소와 유사한 개념이므로 이 요소를 전단벽 해석에 적용할 수 있다. 다만, 이 요소의 경우에도 삼차원 해석 시 전단벽과 동일 평면상에 존재하지 않는 보와 연결될 경우, 변위적합조건이 만족되지 않는 단점이 있다.

5 개의 자유도를 갖는 요소는, 면내외 이동자유도 모두와 면외회전자유도를 가지므로, 이 요소 또한 전단벽 해석에 적용이 가능하다. 이 요소의 경우에도 전술된 보와 같이 삼차원 해석 시 변위적합조건이 만족되지 않는 단점이 있다.

6 개의 자유도 모두를 갖는 요소는 삼차원 해석 시 변위적합조건을 만족시킬 수 있으므로 전단벽 해석을 위해 무리 없이 적용될 수 있다.

현재 국내에서 사용 중인 컴퓨터 프로그램들에서는, 5 자유도 및 6 자유도 요소의 강성행렬을 3 개의 면외자유도를 갖는 휨판요소와 3 개의 면내자유도를 갖는 평면응력요소의 강성행렬을 중첩하여 구하고 있는 것으로 분석된다.[1]

## 3. 전단벽 해석요소의 검증방법

전단벽은 Fig. 2와 같이 전단벽 변장비(shear wall aspect ratio)  $h/b$ 에 따라 전단지배 전단벽, 전단-휨지배 전단벽, 휨지배 전단벽 등으로 분류될 수 있다.

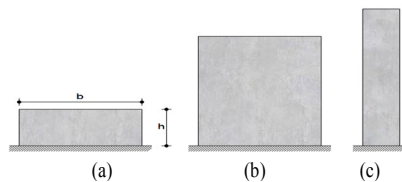


Fig. 2. Classification of shear wall

(a) shear dominated( $h/b < 1/4$ ), (b) shear-bending dominated( $1/4 < h/b < 4$ ), (c) bending dominated( $h/b > 4$ )

Gere와 Timoshenko[2]의 이론에 의하면, 자유단에 집중하중 P가 작용하는 캔틸레버보의 처짐은 Eq. 1과 같이 계산될 수 있다.

$$\delta_t = \frac{Ph^3}{3EI} \left(1 + \frac{3f_s EI}{GAh^2}\right) = P \left(\frac{h^3}{3EI} + \frac{f_s h}{GA}\right) \quad \text{Eq. 1}$$

여기서, E= 탄성계수(modulus of elasticity, kN/m<sup>2</sup>)

I=단면이차모멘트(moment of inertia of area, m<sup>4</sup>)

A=단면적(Area of section, m<sup>2</sup>)

G=전단탄성계수(shear modulus of elasticity, kN/m<sup>2</sup>)

f<sub>s</sub>=전단형상계수(form factor of shear)로써 사각형 단면일 경우 6/5

여기서, 전단벽 변장비 R = h/b, 전단벽 두께 = t라 가정하면, 캔틸레버 보 상단에서의 면내처짐과 면외처짐을 Eq. 2~3과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\delta_{in}}{P} = \frac{4R^3}{Et} + \frac{f_s R}{Gt}, \delta_{in} : \text{In-plane Deformation Eq. 2}$$

$$\frac{\delta_{out}}{P} = \frac{4b^2 R^3}{Et^3} + \frac{f_s R}{Gt}, \delta_{out} : \text{Out-plane Deformation Eq. 3}$$

Eq. 2와 Eq. 3을 이용하면, 자유단에 집중하중 P가 작용할 때 전단벽 변장비에 따른 휨 및 전단변형의 비율을 계산할 수 있다. 전단벽의 두께를 t=0.3m로 가정하였을 때 이 값을 구해보면 Table 2 및 Table 3과 같다.

Table 2. Bending and shear deformation according to shear wall aspect ratio(in-plane)

R	$\delta_b$	$\delta_s$	$\delta_t$	$\delta_b/\delta_t$	$\delta_s/\delta_t$
1/12	3.67E-10	3.17E-08	3.21E-08	1.14%	98.86%
1/9	8.71E-10	4.23E-08	4.32E-08	2.02%	97.98%
1/6	2.94E-09	6.35E-08	6.64E-08	4.42%	95.58%
1/4	9.92E-09	9.52E-08	1.05E-07	9.43%	90.57%
1/3	2.35E-08	1.27E-07	1.50E-07	15.63%	84.38%
1/2	7.94E-08	1.90E-07	2.70E-07	29.41%	70.59%
1	6.35E-07	3.81E-07	1.02E-06	62.50%	37.50%
2	5.08E-06	7.62E-07	5.84E-06	86.96%	13.04%
3	1.71E-05	1.14E-06	1.83E-05	93.75%	6.25%
4	4.06E-05	1.52E-06	4.22E-05	96.39%	3.61%
6	1.37E-04	2.29E-06	1.39E-04	98.36%	1.64%
9	4.63E-04	3.43E-06	4.66E-04	99.26%	0.74%
12	1.10E-03	4.57E-06	1.10E-03	99.59%	0.41%

\*  $\delta_b$  : Bending deformation,  $\delta_s$  : Shear deformation

Table 3. Bending and shear deformation according to shear wall aspect ratio(out-of-plane)

R	$\delta_b$	$\delta_s$	$\delta_t$	$\delta_b/\delta_t$	$\delta_s/\delta_t$
1/12	5.29E-06	3.17E-08	5.323E-06	99.40%	0.60%
1/9	7.05E-06	4.23E-08	7.097E-06	99.40%	0.60%
1/6	1.06E-05	6.35E-08	1.065E-05	99.40%	0.60%
1/4	1.59E-05	9.52E-08	1.597E-05	99.40%	0.60%
1/3	2.12E-05	1.27E-07	2.129E-05	99.40%	0.60%
1/2	3.17E-05	1.90E-07	3.194E-05	99.40%	0.60%
1	6.35E-05	3.81E-07	6.387E-05	99.40%	0.60%
2	5.08E-04	7.62E-07	5.087E-04	99.85%	0.15%
3	1.71E-03	1.14E-06	1.715E-03	99.93%	0.07%
4	4.06E-03	1.52E-06	4.065E-03	99.96%	0.04%
6	1.37E-02	2.29E-06	1.372E-02	99.98%	0.02%
9	4.63E-02	3.43E-06	4.629E-02	99.99%	0.01%
12	1.10E-01	4.57E-06	1.097E-01	100.00%	0.00%

Table 2를 분석해 보면, 면내 변형의 경우 총 변형에 대한 전단변형의 비가 전단지배 영역에서는 90.57% 이상을 차지하고 있으며, 휨지배 영역에서는 3.61% 이하인 것으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편 Table 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 면외 방향의 경우에는 전단벽 변장비와 관계없이 총 변형에 대한 전단변형 비가 0.6% 이하로써 휨지배 영역에 속하는 것으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 분석결과를 도식적으로 나타내면 Fig. 3과 같다.

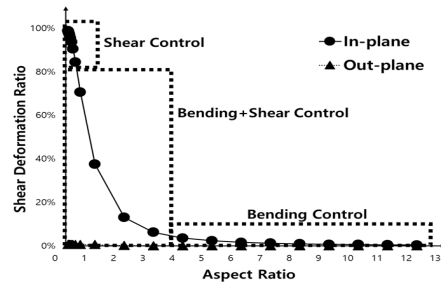


Fig. 3. Shear deformation ratio according to shear wall aspect ratio

따라서 본 연구에서는, Table 2~3 및 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 전단지배 영역, 휨·전단지배 영역 및 휨지배 영역에 속하는 캔틸레버 보를 해석한 후 그 결과를 분석하였다.

해석 시 요소를 분할하는 원칙은, 일단 한 개의 요소에서 출발하여 긴 방향으로 요소의 변장비가 1이 될 때까지 요소를 계속하여 분할하였다. 또한 모든 요소의 변장비가 1이 된 이후에는 각각의 요소를 가로·세로 방향으로 2 개씩 분할하였다. 일례로 전단벽 변장비가 3인 경우를 대상으로 요소분할 방법을 나타내면 Fig. 4와 같다.

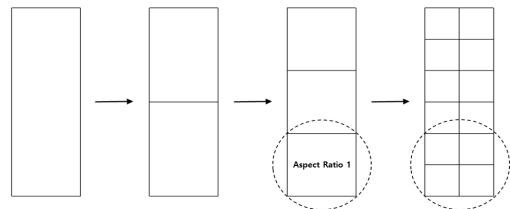


Fig. 4. Example of element division(aspect ratio 3)

해석 시 사용된 컴퓨터 프로그램은, MIDAS[3]와 SAP2000[4-5] 및 neoMAX[6]등이다. 이들은 상용프로그램이므로 요소의 강성을 어떻게 계산하고 있는지 알

수 없다. 이러한 점을 고려하여 연구용인 sNs를 비교대상 프로그램으로 사용하였다. 개별 프로그램의 사용된 요소들의 특징은 Table 4와 같다.

Table 4. Finite elements used in wall analysis

Program	element	Number of d.o.f	d.o.f
SAP2000	Shell Thin	6	u, v, w, $\Theta_x, \Theta_y, \Theta_z$
MIDAS	Wall(Plate)	6	u, v, w, $\Theta_x, \Theta_y, \Theta_z$
neoMAX	Wall	3	u, v, $\Theta_z$
	Shell	5	u, v, w, $\Theta_x, \Theta_y$
sNs	Shell Thin	6	u, v, w, $\Theta_x, \Theta_y, \Theta_z$

해석 시 사용한 단위(unit)는 kN, m이며, 탄성계수는  $E=2.1 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ , 전단벽 두께는 모두 0.3인 얇은 판으로 가정하였다. 작용하중은 캔틸레버 상단에서 면내의 방향으로 각각 1,200kN씩 작용하는 것으로 가정하였다. 해석결과와 분석을 위해 사용된 해석모형을 분류해보면 Table 5와 같다.

Table 5. Classification of analytical model

Program	Model	Remarks
SAP2000	SPS	• NMW: plane stress element with rotational stiffness • NMS: 5 d.o.f element • SPS,MDW,SSS: 6 d.o.f element
MIDAS	MDW	
neoMAX	NMW	
	NMS	
sNs	SSS	

### 4. 해석결과 분석

3 장의 해석방법에 따라 구조해석을 수행한 결과를 분석해보기 위하여, 해석 시 사용된 요소 수에 따른 오차를 Eq. 4와 같이 정의하기로 한다.

$$\text{err} = \frac{(\delta_{\text{theory}} - \delta_n)}{\delta_{\text{theory}}} \times 100(\%) \quad \text{Eq. 4}$$

여기서,  $\delta_{\text{theory}}$ =Gere와 Timoshenko의 보 이론에 따른 변위

$$\delta_n = \text{요소 수 } n \text{ 일 때의 변위}$$

Eq. 4에 따른 프로그램 별 오차율을 분석해보면, SAP2000, MIDAS, sNs 등은 면내의 변위에서 유사한 경향을 보이고 있다. 이에 반하여 neoMAX의 경우에는,

모든 변장비에서의 면내의 오차율이 타 프로그램에 비해 크게 나타나고 있다. 요소를 1개만 사용할 경우, 변장비 12에서 neoMAX의 면내오차율은 95.1%, 면외오차율은 98.6%에 이르는 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 neoMAX가 등매개변수요소(isoparametric element)를 사용하기 때문이다. 즉, 등개변수요소의 경우, 강성행렬을 구할 때 원래의 요소를 가로:세로 길이가 2인 정사각형요소로 변환하여야 한다. 요소를 변환하는 과정에서 자코비안 연산자(Jacobian operator)가 필요한데, 이때 요소의 변장비가 커지거나 또는 요소의 각 변들이 만나는 각도가 매우 작아질 경우, 자코비안 연산자가 왜곡되므로 강성 등이 정확히 산정되지 않는다.

먼저 전단지배, 전단-휨지배 및 휨지배 영역에 속하는 대표적인 경우로 변장비 1/12, 1, 12에 대한 면내변위를 나타내보면 Fig. 5~Fig. 7과 같다.

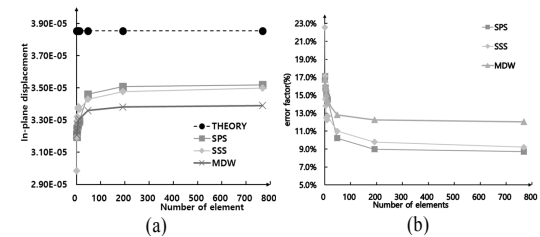


Fig. 5. Shear wall aspect ratio 1/12 (a)Displacement (b)Ratio of error

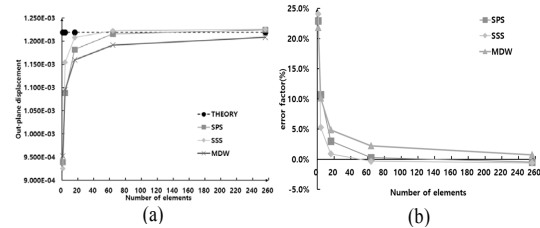


Fig. 6. Shear wall aspect ratio 1 (a)Displacement (b)Ratio of error

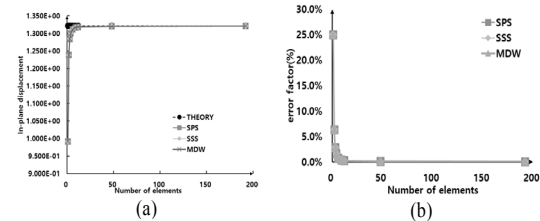


Fig. 7. Shear wall aspect ratio 12 (a)Displacement (b)Ratio of error

Fig. 5~Fig. 7을 좀 더 자세히 분석해보면, 먼저 전단벽 변장비가 1/12인 경우 요소 수를 아무리 증가시켜도 유한요소해석에 의한 변위는 이론해 보다 작은 값을 갖는 것으로 나타나고 있다. 이 경우의 수렴 후 오차율은 프로그램에 따라 8.7%~12.1%에 이르고 있다. 전단벽 변장비 1인 경우, MDW 이외의 모형은 요소 수를 증가시키면 이론해에 도달한 이후 이론해 보다 더 큰 변위로 수렴하는 경향을 보이는 것으로 나타나고 있다. 이 경우의 수렴 후 오차율은 -0.6%에 이르고 있다. 여기서 오차율이 음(-)의 값을 가진다는 것은, Eq. 4에 근거하여 볼 때 유한요소해석에 의한 변위가 이론해 보다 커진다는 것을 의미한다. 이는 전단벽 변장비 1인 경우 요소를 작게 분할하면 할수록 유한요소 강성이 실제 강성보다 작아진다는 것을 의미한다. 전단벽 변장비 12인 경우에는, 요소 수를 증가시키면 정확하게 이론해로 수렴하는 것으로 나타나고 있다.

전단벽 변장비에 따른 오차율을 좀 더 상세히 분석해 보기 위하여, 오차율을 전단벽 변장비에 따라 세분화하여 나타내 보면 Fig. 8과 같다.

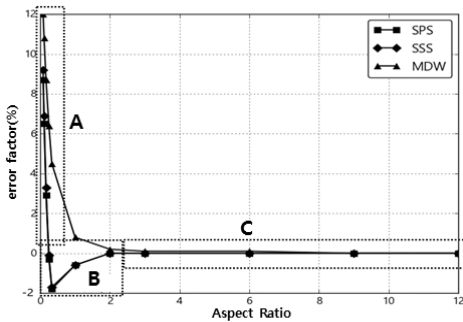


Fig. 8. Rate of error in in-plane displacement

Fig. 8을 분석해보면 전단벽 변장비에 따른 오차율은 세 가지 유형으로 나타나고 있다. 변장비 1/12~1/5 구간에서는 세 가지 해석모형이 이론해 보다 항상 작은 변위로 수렴하고 있다(영역 A). 변장비 1/4~2 구간에서는 해석요소를 어느 정도 분할하면 이론해에 도달하였다가 그 이후에는 이론해 보다 큰 변위로 수렴하고 있다(영역 B, MDW 모형 제외). 변장비 2~12 구간에서는 요소를 분할하면 할수록 이론해로 수렴하는 것으로 나타나 있다(영역 C).

전술된 결과를 분석하여 보면, 영역 A에서는 유한요소의 강성이 실제보다 큰 값을 갖는 것으로 판단되며, 영

역 B에서 SPS, SSS 모형은 요소를 분할할수록 유한요소의 강성이 실제보다 약간 작은 값을 갖는 것으로 판단된다. 영역 C에서는 유한요소의 강성이 실제 강성과 거의 같은 값을 갖는 것으로 판단된다. 이러한 현상이 나타나는 이유는, 면내 휨강성을 갖는 평면응력요소의 강성을 구하기 위한 공식화 방법이 전단거동 보다는 휨거동에 초점이 맞춰졌기 때문인 것으로 판단된다.

요소 수 1일 때의 전단벽 변장비에 따른 오차율 변화는 SPS, MDW, NMS, SSS에서 동일한 양상을 보이고 있다. 다만 NMS의 경우 등대개변수를 사용한 요소이므로 오차율의 크기가 타 모형에 비해 휨지배영역으로 갈수록 매우 큰 값을 가지게 된다. SPS, MDW, SSS 모형에서 요소를 1 개만 사용하였을 때의 전단벽 변장비에 따른 오차율을 분석해보면 Fig. 9와 같다. 전반적으로 면내변위가 갖는 오차율은 16.9%~25.0%로 나타나며, 오차율의 변화는 전단지배 영역에서 휨지배 영역으로 갈수록 커지는 경향을 보이고 있다. 여기서 주목할 점은, Eq. 4에 근거하여 볼 때 오차율이 양의 값을 갖는다는 것은 요소의 강성이 크게 산정된다는 의미이다. 따라서 요소를 1 개만 사용하였을 경우 실제 구조물의 변위를 과소 평가할 가능성이 있다.

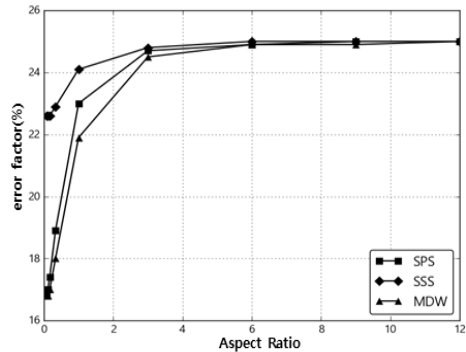


Fig. 9. Rate of error in one number of element

면외변위의 경우, SPS, SSS 모형은 면내변위와 달리 요소 수에 관계없이 일정한 값을 갖는 것으로 나타나고 있다. 즉, 면외변위의 경우 특정 변장비에 대하여 요소 수에 관계없이 일정한 값을 갖는 것으로 나타나고 있다. 다만, MDW 모형의 경우에는 변장비 1/12~3 구간에서 큰 오차율의 변화를 보이는데 이를 도식적으로 나타내면 Fig. 10과 같다.

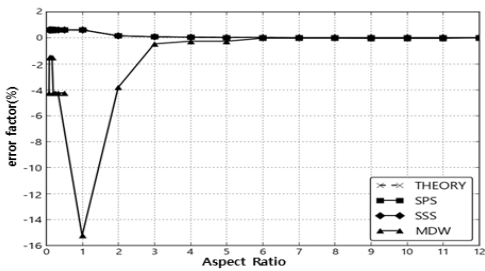


Fig. 10. Rate of error in out-of-plane displacement

Fig. 10에서 ‘THEORY’로 표기된 부분은, Table 3에서 전체변위에 대한 전단변위의 비율이다. 따라서 SPS, SSS 모형은 정확하게 전단변위 만큼을 고려하지 못하고 있음을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구로부터 도출된 결과는 다음과 같다.

먼저 면내변위의 경우, 전단벽 변장비에 따른 오차율은 변장비 1/12~1/5 구간에서는 이론해 보다 작은 변위로 수렴하는 것으로 나타나고 있다. 변장비 1/4~2 구간에서는 요소를 분할하면 이론해에 도달하였다가 그 이후에는 이론해 보다 큰 변위로 수렴하는 것으로 나타나고 있다. 변장비 2~12 구간에서는 요소를 분할하면 할수록 이론해로 수렴하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 변장비 1/12~1/5 구간에서는 유한요소의 강성이 실제보다 큰 값을 갖는 것으로 판단된다. 그러므로 전단벽 변장비가 전단 지배영역에 속할 경우에는, 유한요소의 강성이 실제보다 큰 값을 갖게 되어 해석에 의한 변위가 실제변위보다 과소평가될 위험성이 있으므로 주의해야 할 것으로 판단된다.

요소 수가 1일 때 면내변위가 갖는 오차율 변화는 전단지배 영역에서 휨지배 영역으로 갈수록 커지는 경향을 보이고 있는데, 이 값은 약 16.8%~25.0% 범위를 보이고 있다. 따라서 요소를 1 개만 사용하였을 경우 실제 구조물의 변위는 과소평가될 위험성이 있으므로 주의해야 한다.

면외변위의 경우, SPS, SSS 모형에서는 특정 변장비에 대하여 요소 수에 관계없이 일정한 값을 갖는 것으로 나타나고 있으며, 오차는 정확하게 이론으로부터 구한 전단변위 만큼에 해당하고 있다.

본 연구 결과에 근거하여 볼 때, 해석결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 전단벽 변장비 및 사용하고 있는 프로그램의 요소특성을 잘 파악한 후 전단벽을 모형화 해야

할 것으로 판단된다.

### REFERENCE

- [1] Jung Sung-Jin, Lee Min-Sub, Park Se-Hee, A Computer Program Algorithm for Realizing Quadrilateral Plane Element, Journal of the Architectural Institute of Korea, vol 28. April 2012.
- [2] Gere & Timoshenko, Mechanics of Materials. Third Edition, PWS-KENT, 1990.
- [3] MIDAS IT, MIDAS/GEN(Integrated Design System for Buildings and General Structures), Ver.7.8.5
- [4] Computers and Structures, Inc., SAP2000-ANALYSIS REFERENCE, Ver. 6.1
- [5] Computer and Structures, Inc., CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge, July, 2015.
- [6] HnP Soft , neoMAX-3D User's Manual, Ver. 2.0
- [7] K.J. Bathe, Finite Element Procedures, Prentice Hall, 1996.
- [8] ADINA ENGINEERING, ADINA - System verification manual, REPORT AE 83-5, June 1983.

### 정 성 진(Sung-Jin Jung)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 서울대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1985년 3월 ~ 1996년 2월 : 현대건설(주) 과장
- 1996년 3월 ~ 2005년 2월 : 영동대학교 건축학부 부교수
- 2005년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 건축공학과 교수

<관심분야>  
건축구조

### 박 세 희(Se-Hee Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한남대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 한남대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한남대학교 건축공학과 박사 후 연구원

<관심분야>  
건축구조