

# 콘크리트 전단벽 아웃리거의 두께 산정

## Determination of the Thickness of RC Shear Wall Outriggers

이 재 철\*

Lee, Jae-Cheol

(논문접수일 : 2007년 12월 12일 ; 심사종료일 : 2008년 1월 8일)

### 요 지

본 연구의 목적은 초고층건물의 콘크리트 전단벽 아웃리거 두께를 산정하는 방법을 찾는 것이다. 이를 위해서 먼저 60층 규모의 초고층건물 해석모델을 생성하고 구조해석을 수행하였다. 다음에는 해석결과를 이용하여 아웃리거로 인한 하중 전달방식과 변형 양상의 변화를 고찰하고 이를 바탕으로 아웃리거 두께 산정식을 제안하였다. 마지막으로 해석모델을 다양하게 변화시켜 제안식의 타당성을 검토하였다.

**핵심용어** : 초고층건물, 콘크리트 전단벽 아웃리거, 아웃리거 두께

### Abstract

The purpose of this study is to find the way to determine the thickness of RC shear wall outriggers of tall buildings. For this, the analysis models of tall buildings with 60 stories are generated and analyzed. Then the changes of load transfer and deformation caused by the outriggers are investigated and the equation for the determination of the thickness of RC shear wall outriggers is proposed. Finally, the proposed equation is verified for the variously modified analysis models.

**Keywords** : tall buildings, RC shear wall outriggers, the thickness of outriggers

## 1. 서 론

초고층건물의 횡강성(lateral stiffness)을 증가시킬 수 있는 다양한 방법 중에서 아웃리거(outrigger)는 초고층건물의 내부 코어 전단벽과 외곽(perimeter) 기둥을 강하게 연결하여 횡강성을 상당히 증가시키는 효율적인 방법이다.

이에 따라 여러 초고층건물에 아웃리거가 적용되었으며, 아웃리거가 초고층건물의 구조적 특성에 미치는 영향에 대한 연구도 다수 수행되었다. McNabb 등(1975)은 아웃리거와 벨트트러스(belt truss)의 최적위치에 대한 연구를 수행하였으며, Smith 등(1981)은 아웃리거를 추가한 초고층건물을 해석하여 아웃리거의 최적위치, 최상층 변위 및 밀면 모멘트의 감소효율 등을 분석하였다. 김지영 등(1997)은 가상일의 원리를 이용하여 각 부재들이 초고층건물의 횡변위에 미치는 영향을 분석하였고, 김영학 등(2003)은 아웃리거를 추가한 초고층건물의 구조적 거동을 분석 및 평가하였다. 그리고

Wu 등(2003)은 아웃리거의 최적 설계법에 대한 연구를 수행하였으며, Hoenderkamp 등(2003)은 아웃리거의 추가에 따른 초고층건물의 구조적 거동을 분석하기 위한 강성 파라미터(parameter)와 그 영향을 분석하였다.

하지만 이상의 연구들은 아웃리거를 추가한 초고층건물의 구조적 거동을 해석하여 부재들이 횡강성에 미치는 영향이나 아웃리거의 최적 위치 등을 주로 다루었기 때문에 아웃리거의 구체적인 단면 크기 결정에 직접적으로 활용하기는 어렵다. 그리고 대부분 외곽 기둥이 단순접합부로 연결된 것으로 가정하거나 아웃리거의 전단강성을 무시하고 횡강성(flexural rigidity)만 고려하거나 혹은 외곽 기둥과 내부 전단벽을 연결하는 보(이하 '연결보')를 무시하는 등의 해석상 단순화 때문에 실제 초고층건물의 거동을 적절히 나타내지 못할 수 있다.

이에 본 연구에서는 앞서 기술한 해석상 단순화를 하지 않고 초고층건물의 횡변위를 특정한 값으로 맞추기 위해서 필

\* 책임저자, 정희원 · 동명대학교 건축공학과 조교수  
Tel: 051-610-8607 ; Fax: 051-610-8840  
E-mail: jclee@tu.ac.kr

• 이 논문에 대한 토론을 2008년 4월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

요한 콘크리트 전단벽 아웃리저의 단면 크기를 결정하는 방법을 찾고자 한다. 이를 위해서 먼저 초고층건물의 전형적인 거동을 나타낼 수 있는 60층 규모의 해석모델을 생성하였다. 다음에는 이 해석모델을 해석하여 전단벽 아웃리저에 의한 하중의 전달 방식과 변형 형태의 변화를 분석하였다. 그리고 이를 바탕으로 초고층건물의 횡변위를 특정한 값으로 맞추는데에 필요한 아웃리저의 단면 크기를 산정할 수 있는 식을 제안하였다. 마지막으로 아웃리저의 거동에 영향을 미치는 요인을 다양하게 변화시킨 해석모델을 이용하여 본 연구의 제안식의 타당성을 검토하였다.

본 연구에서는 철근콘크리트 초고층건물에 적용할 수 있는 콘크리트 전단벽 아웃리저를 대상으로 하기 때문에 아웃리저의 단면 크기는 전단벽 아웃리저의 두께를 산정하여 결정할 수 있다. 해석모델의 구조해석에는 Midas/Gen을 이용하였으며, 60층 규모에서는 보통 풍하중이 초고층건물의 전체적인 거동을 지배하므로 대상지역을 서울로 하여 풍하중만 적용하였다.

### 2. 초고층건물 해석모델

일반적인 초고층건물은 외곽 기둥과 내부 코어 전단벽으로 구성된다. 이에 본 연구에서는 그림 1과 같이 외곽 기둥, 내부 전단벽, 연결보로 구성되는 60층 규모의 해석모델을 생성하였다. 층고는 모두 3,500mm로 전체 높이는 210,000mm이며, 내부 코어 전단벽은 폭 20,000mm, 두께는 800mm이다. 외곽 기둥은 1,000mm×1,000mm의 단면을 가진다. 연결보는 길이가 10,000mm이며, 단면은 540mm

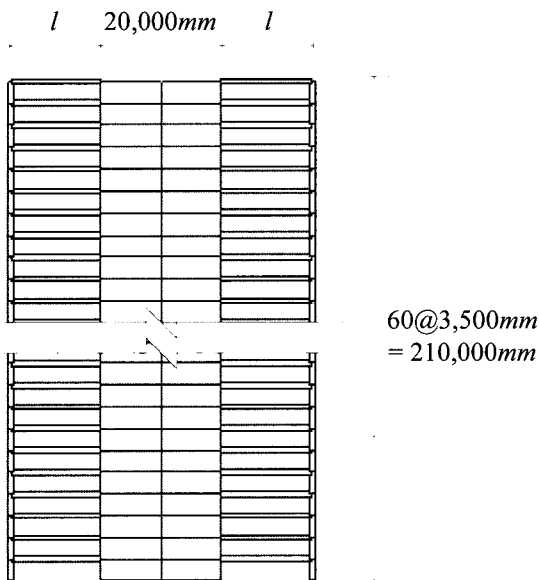


그림 1 해석모델의 형상

×320mm이다. 아웃리저는 Smith 등(1991)을 참고하여 1개인 경우에는 중간인 30층에, 2개인 경우에는 20층과 40층에 추가하였으며, 두께는 구조적 거동의 변화를 파악하기 위해서 5mm, 10mm, 20mm, 40mm, 80mm, 160mm, 320mm, 640mm까지 2배씩 증가시켰다. 기둥, 연결보, 전단벽, 아웃리저의 재료는 모두 설계강도 49MPa의 콘크리트이다.

### 3. 전단벽 아웃리저 두께 산정식

#### 3.1 아웃리저에 의한 하중 전달 방식

일반적으로 전단벽으로 구성된 구조물은 주로 휨변형을 하게 된다. 그리고 기둥과 보로 구성된 강접 골조 구조물은 기둥과 보의 이중 휨(double curvature)에 의해 주로 전단변형을 하게 된다. 그러므로 아웃리저 없이 내부의 코어 전단벽과 외곽 기둥 및 연결보로 구성된 초고층건물은 휨변형과 전단변형이 상호작용하여 하부에서는 주로 휨변형을, 상부에서는 주로 전단변형을 하게 된다.

하지만 아웃리저를 추가하면 아웃리저 부분의 하중의 전달 방식이 보다 복잡하게 된다. 그림 2는 아웃리저를 추가한 경우 외곽 기둥, 아웃리저, 내부 전단벽에 작용하는 수직력의 자유물체도를 해석모델의 왼쪽부분만 표현한 것이다.

그림 2에서  $T_{core}$ 는 내부 전단벽이 오른쪽으로 작용하는 횡하중에 의해서 오른쪽으로 휘면서 발생하는 축방의 합력이다.  $nT_{col}$ 은 아웃리저가 있는 층의 외곽 기둥에 작용하는 축력이며,  $(n-1)T_{col}$ 은 아웃리저 바로 아래층의 외곽 기둥에 작용하는 축력으로서 연결보의 영향으로 아래층으로 갈수록 약간씩 증가한다. 외곽 기둥에 작용하는 축력은 역시 오른쪽으로 작용하는 횡하중에 의해 내부 전단벽과 함께 외곽 기둥이

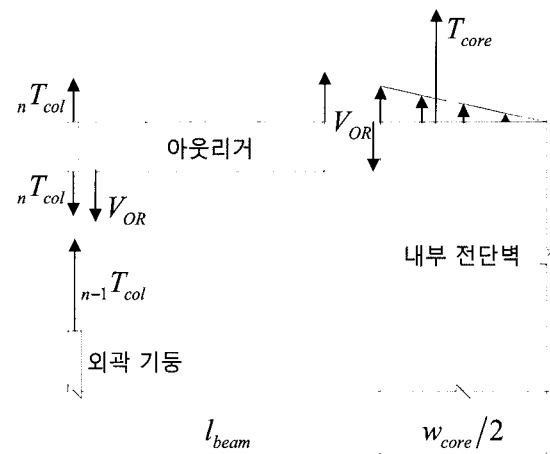


그림 2 해석모델의 수직력 자유물체도 일부

오른쪽으로 휘면서 발생하는 축력이다.  $V_{OR}$ 은 외곽 기둥과 내부 전단벽을 연결하는 전단벽 아웃리저에 작용하는 전단력이다. 그림 2에서 평형조건을 고려하면 식 (1)~(4)가 성립함을 알 수 있다.

$${}_{n-1}T_{col} = {}_n T_{col} + V_{OR} \quad (1)$$

$$M_{col} = {}_{n-1} T_{col} \times (l_{beam} + w_{core}/2) \times 2 \\ = {}_{n-1} T_{col} \times (2 \times l_{beam} + w_{core}) \quad (2)$$

$$M'_{core} = T_{core} \times (w_{core}/2 \times (2/3)) \times 2 \\ = (2/3) \times T_{core} \times w_{core} \quad (3)$$

$$M_{core} = M'_{core} - V_{OR} \times w_{core} < M'_{core} \quad (4)$$

여기에서  $M_{col}$ 은 기둥에 작용하는 축력에 의한 휨모멘트이며,  $M'_{core}$ 는 아웃리저가 없을 경우 내부 전단벽에 작용하는 휨모멘트이며,  $M_{core}$ 는 아웃리저가 있는 경우의 내부 전단벽에 작용하는 휨모멘트이다.

그림 2와 식 (1)~(4)에서 보면 아웃리저에 의한 하중 전달 방식은 다음과 같다. 먼저 내부 전단벽이 횡하중에 의해서 오른쪽으로 휘면 아웃리저도 같이 회전한다. 그러면 아웃리저는 연결된 외곽 기둥을 위로 끌어 올리고 외곽 기둥은 아웃리저의 왼쪽을 아래로 잡아당긴다. 그리고 이로 인해 내부 전단벽의 왼쪽에서 아래쪽으로 전단력이 작용하여 왼쪽으로 휘게 하는 휨모멘트가 내부 전단벽에 작용한다. 그러므로 아웃리저가 추가되면 외곽 기둥에는 축력  ${}_{n-1}T_{col}$ 이 증가하여  $M_{col}$ 이 증가한다. 그리고 내부 전단벽에 작용하는 휨모멘트  $M'_{core}$ 는  $V_{OR} \times w_{core}$  만큼 감소하여  $M_{core}$ 가 된다. 아웃리저에는 전단력  $V_{OR}$ 이 작용하며, 아웃리저가 있는 층의 외곽 기둥에는  ${}_n T_{col}$ 이 작용한다.  ${}_{n-1}T_{col}$ 은  $V_{OR}$ 과  ${}_n T_{col}$ 로 나뉘는데, 아웃리저가 있는 층의 외곽 기둥에 작용하는 축력은 그리 크지 않다.

그림 3과 4는 30층에 1개의 아웃리저를 추가한 해석모델을 구조해석한 결과 중에서 외곽 기둥에 작용하는 축력, 내부 전단벽에 작용하는 축력을 전단벽 아웃리저의 두께에 따라 아웃리저가 없는 해석모델과 함께 나타낸 것이다.

그림 3과 4에서 보면 아웃리저의 두께가 증가하면 아웃리저 아래의 외곽 기둥의 축력은 급격히 증가하고 아웃리저 위쪽의 외곽 기둥의 축력은 오히려 약간 감소한다. 반면에 내부 전단벽에서는 아웃리저 아래쪽에서  $V_{OR}$  때문에 축력이 급격히 감소하고 위쪽에서는 약간 증가한다. 하지만 외곽 기둥과 내부 전단벽의 축력이 증가하거나 감소하는 정도는 아웃리저의 두께가 증가함에 따라 점차 감소한다.

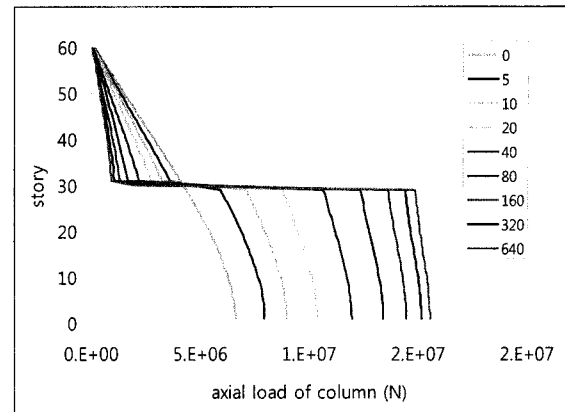


그림 3 해석모델의 외곽 기둥의 축력

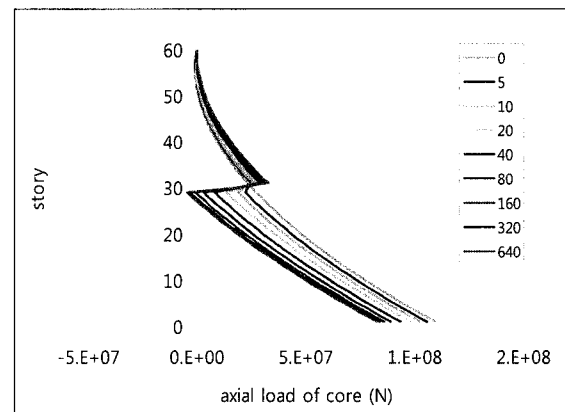


그림 4 해석모델의 내부 전단벽의 축력

### 3.2 아웃리저에 의한 변형 양상

초고층건물이 횡하중을 받으면 휘어지며, 이에 따라 중립축을 중심으로 한쪽은 수직방향으로 길이가 증가하고 반대쪽은 감소한다. 그러므로 횡하중에 의한 휨이 커져 횡변위가 증가하면 수직방향의 변위도 증가한다. 아웃리저를 추가하면 3.1절에서 기술한 바와 같이 외곽 기둥과 내부 전단벽에 작용하는 휨모멘트가 각각 증가, 감소하기 때문에 외곽 기둥과 내부 전단벽의 수직변위도 각각 증가, 감소한다. 그림 5, 6, 7은 해석모델의 최고층 횡변위  $\delta_h$ , 외곽 기둥의 수직방향 변위  $\delta_{col}$ , 내부 전단벽의 수직방향 변위  $\delta_{core}$ 를 아웃리저의 두께에 따라 나타낸 것이다.

그림 5, 6, 7에서 보면 아웃리저의 두께가 증가할수록 최고층의 횡변위는 점차 감소하고, 외곽 기둥의 경우 아웃리저 아래에서는 수직방향 변위가 선형으로 증가하지만 아웃리저 위에서는 증가가 아주 미미하다. 내부 전단벽에서는 전체적으로 위로 갈수록 수직방향 변위가 증가하지만 그 증가폭은 급격히 감소하고 아웃리저 근처에서 수직변위가 약간 감소한다. 이러한 경향은 아웃리저의 두께가 증가할수록 뚜렷해지

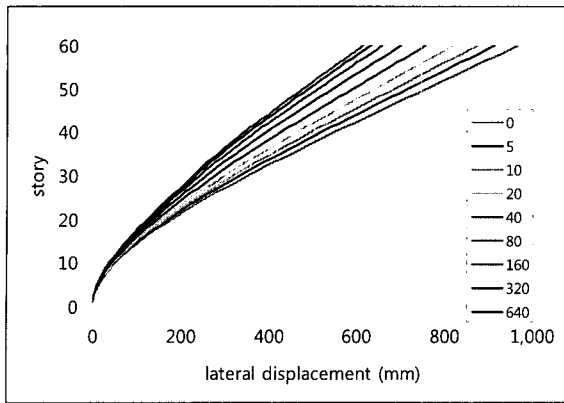


그림 5 해석모델의 최고층 횡변위

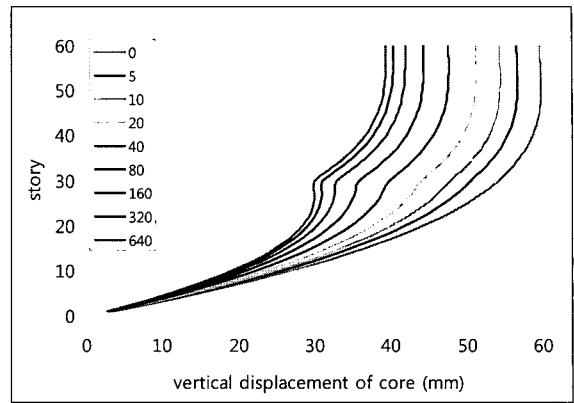


그림 7 해석모델의 내부 전단벽의 수직방향 변위

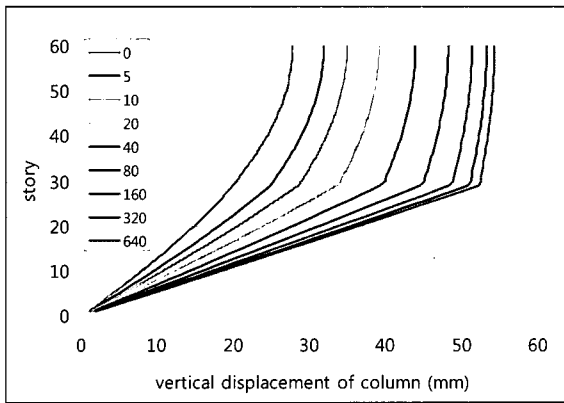


그림 6 해석모델의 외곽 기둥의 수직방향 변위

면 외곽 기둥의 수직변위 증가량과 내부 전단벽의 수직변위 감소량을 예측할 수 있고, 이를 이용하여 외곽 기둥의 수직 변위와 내부 전단벽의 수직변위를 계산할 수 있다.

### 3.3 전단력에 의한 아웃리저의 변형

그림 8은 아웃리저와 내부 전단벽에 발생하는 변형을 과장하여 나타낸 것이다. 아웃리저에는 그림 2에 나타난 바와 같이 전단력  $V_{OR}$ 이 작용하므로, 이 전단력에 의해서 내부 전단벽에는 횡변위가 감소하는 방향으로  $V_{OR} \times w_{core}$ 만큼의 휨모멘트가 작용하여  $\theta_{rot}$ 만큼 역회전각이 발생한다. 그리고 이 역회전각에 의해서 아웃리저의 왼쪽이 아래로  $\delta_{rot} = \theta_{rot} \times l_{beam}$ 만큼 처진다. 아웃리저의 두께가 증가할수록 아웃리저에 작용하는 전단력이 증가하므로 내부 전단벽의 역회전각과 아웃리저의 처짐도 점차 증가한다. 표 1에는 내부 전단벽의 역회전각에 의한 아웃리저의 처짐 증가량과 최고층 횡 변위 감소량에 대한 비율을 나타냈는데, 그 비율이 거의 일

지만 그 경향은 점차 감소한다.

표 1에는 최고층 횡변위, 외곽 기둥의 수직변위 증가량, 내부 전단벽의 수직변위 감소량과 그 비교값을 표현하였다. 외곽 기둥의 수직변위 증가량과 내부 전단벽의 수직변위 감소량은 최고층 횡변위 감소량과 거의 유사한 비율로 변화하는 것을 알 수 있다. 그러므로 최고층 횡변위의 감소량을 알

표 1 해석모델의 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐

아웃리저 두께	최고층 횡변위 감소량 $\delta_h$ (mm)	외곽 기둥 수직변위		내부 전단벽 수직변위		내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리저 처짐		전단변형에 의한 아웃리저의 처짐		
		증가량 $\delta_{col}$ (mm)	비율 $\delta_{col}/\delta_h$ (%)	감소량 $\delta_{core}$ (mm)	비율 $\delta_{core}/\delta_h$ (%)	증가량 $\delta_{rot}$ (mm)	비율 $\delta_{rot}/\delta_h$ (%)	해석값 $\delta_{shr}^{anal}$ (mm)	계산값 $\delta_{shr}^{calc}$ (%)	비율 $\delta_{shr}^{calc}/\delta_{shr}^{anal}$ (%)
5	52.76	4.87	9.22%	3.57	6.77%	0.58	1.10%	74.75	84.90	113.58%
10	92.12	8.50	9.22%	6.23	6.77%	1.01	1.10%	65.40	74.12	113.33%
20	146.96	13.55	9.22%	9.94	6.77%	1.62	1.10%	52.38	59.13	112.87%
40	209.39	19.30	9.22%	14.16	6.76%	2.32	1.11%	37.58	42.12	112.09%
80	266.17	24.51	9.21%	17.99	6.76%	2.96	1.11%	24.14	26.77	110.92%
160	308.49	28.37	9.20%	20.82	6.75%	3.46	1.12%	14.16	15.51	109.54%
320	335.82	30.84	9.18%	22.63	6.74%	3.79	1.13%	7.79	8.44	108.44%
640	351.94	32.27	9.17%	23.69	6.73%	3.98	1.13%	4.09	4.42	108.22%

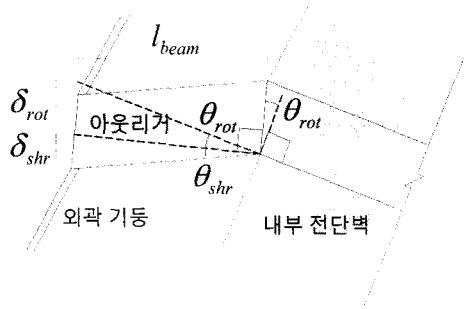


그림 8 해석모델의 변형형상 일부

정함을 알 수 있다. 그러므로 이 비율을 이용하면 최고층 횡 변위 감소량을 통해서 내부 전단벽의 역회전에 의한 아웃리거의 처짐 증가량을 상당히 정확하게 예측할 수 있다.

아웃리거에는 전단력  $V_{OR}$ 이 작용하기 때문에 그림 8에 나타난 바와 같이 전단변형이 발생하고 그로 인해 아웃리거의 왼쪽이  $\delta_{shr}$ 만큼 아래로 처진다. 이 전단력은 아웃리거의 두께가 증가할수록 증가하지만 정확한 값을 계산하기는 어렵다. 이에 본 연구에서는 외곽 기둥의 수직변위 증가량으로부터 외곽 기둥 축력을 계산하고 여기에서 아웃리거가 없는 경우의 외곽 기둥 축력을 뺀 값을 아웃리거의 전단력으로 가정하여 식 (5)로부터 아웃리거의 전단변형에 의한 처짐을 계산하였고 이를 표 1에 나타냈다.

$$\delta_{shr}^{calc} = \frac{6}{4} \frac{V \cdot L}{G \cdot A} = \frac{6}{5} \frac{V_{OR} \cdot l_{beam}}{G \cdot t \cdot h_{OR}} \quad (5)$$

여기에서,  $t$ 는 아웃리거의 두께이고,  $h_{OR}$ 은 아웃리거의 높이로서 3,500mm이다.  $G$ 는 콘크리트의 전단탄성계수이다. 표 1에서 보면 전단변형에 의한 아웃리거의 처짐 계산값은 아웃리거의 두께와 관계없이 실제 해석값보다 약 10%정도 크게 계산되었다. 외곽 기둥이나 연결보의 강성을 변경한 해석모델들에서 동일한 방법으로 전단변형에 의한 아웃리거의 처짐을 계산하면, 모두 아웃리거의 두께와 관계없이 계산값이 해석값과 거의 일정한 비율로 차이가 있다. 그러므로 계산값과 해석값의 오차 비율을 알면 전단변형으로 인한 아웃리거의 처짐값을 계산할 수 있으며, 아웃리거에 가해지는 전단력  $V_{OR}$ 도 계산할 수 있다.

### 3.4 제안식

그림 9는 해석모델의 왼쪽 부분에서 아웃리거와 외곽 기둥이 연결되는 부분의 변형을 구체적으로 표현한 것이다. 외곽 기둥에는 수직방향으로  $\delta_{col}$ 만큼의 인장변형이 발생하여 A

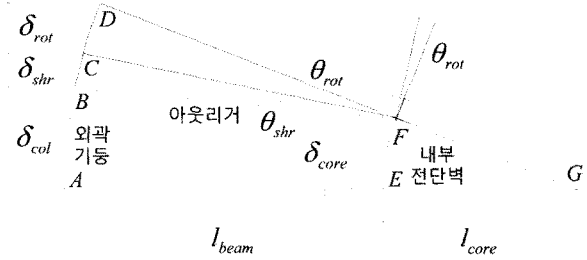


그림 9 해석모델의 변형형상 상세

점에서 B점으로 이동한다. 내부 전단벽은 휨에 의해서 수직 방향으로 인장변형이 발생하여 E점에서 F점으로  $\delta_{core}$ 만큼 이동한다. 그러면 아웃리거는 내부 전단벽의 휨에 따라 AE에서 DF로 이동하게 된다. 그리고 아웃리거의 전단력  $V_{OR}$ 에 의한 내부 전단벽의 역회전각  $\theta_{rot}$ 때문에 아웃리거의 왼쪽 끝 부분이 D점에서 C점으로  $\delta_{rot}$ 만큼 이동한다. 다시 전단력  $V_{OR}$ 에 의해서 아웃리거가 전단변형을 하면  $\delta_{shr}$ 만큼 처짐이 발생하여 아웃리거의 왼쪽 끝 부분이 C점에서 B점으로 이동하여 외곽 기둥과 연결된다.

이러한 해석모델의 변형형상에서 삼각형 AGD와 EGF의 비례를 통하여 식 (6), (7)을 유도할 수 있다. 여기에서 구한  $\delta_{shr}$ 를 식 (5)의  $\delta_{shr}^{calc}$ 에 대입하면 식 (8)을 얻고, 이로부터 다시 콘크리트 전단벽 아웃리거의 두께를 산정할 수 있는 식 (9)를 얻는다.

$$\overline{AD} = \delta_{rot} + \delta_{shr} + \delta_{col} = \left( \frac{l_{beam} + l_{core}}{l_{core}} \right) \times \delta_{core} \quad (6)$$

$$\delta_{shr} = \left( \frac{l_{beam} + l_{core}}{l_{core}} \right) \times \delta_{core} - (\delta_{rot} + \delta_{col}) \quad (7)$$

$$\delta_{shr} = \frac{6}{5} \frac{V_{OR} \cdot l_{beam}}{G \cdot t \cdot h_{OR}} \quad (8)$$

$$t = \frac{6}{5} \frac{V_{OR} \cdot l_{beam}}{G \cdot \delta_{shr} \cdot h_{OR}} \quad (9)$$

식 (9)의 적용에 필요한 값 중에서  $\delta_{col}$ ,  $\delta_{core}$ 는 3.2절에서 기술한 방법에 따라,  $\delta_{rot}$ ,  $V_{OR}$ 은 3.3절에서 기술한 방법에 따라 계산할 수 있다. 단, 위의 값들은 증가량 혹은 감소량을 이용하여 계산할 수 있으므로, 식 (9)를 이용하기 위해서는 아웃리거가 없는 해석모델과 임의의 두께의 아웃리거를 추가한 해석모델을 해석한 결과가 필요하다.

### 4. 제안식의 검토

초고층건물은 아웃리거를 추가하면 아웃리거 자체의 강성, 수, 위치 뿐 아니라 외곽 기둥, 내부 전단벽, 연결보의 강성

표 2 해석모델 아웃리저 두께의 계산 결과

구분		해석모델	
		기둥 1,000mm × 1,000mm 연결보 10,000mm, 540mm × 320mm 아웃리저 : 30층	
아웃리저의 두께 (mm)	실제값	계산값	비율 (%)
	5	4.9	99.0
	10	9.9	98.8
	20	19.7	98.5
	40	39.2	98.0
	80	78.0	97.4
	160	156.0	97.5
	320	320.0	100.0
640	701.3	109.6	

에 의해서도 구조적 거동이 상당히 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서 해석모델과 이를 변경한 5개의 변경모델에 대해서 제안식을 적용하고 그 타당성을 검토한다.

#### 4.1 해석모델

앞서 기술한 해석모델에 3장에서 기술한 식 (9)를 적용하여 계산한 아웃리저의 두께 및 실제값과의 비율을 표 2에 나타냈다. 이 값들은 아웃리저가 없는 해석모델과 두께 320mm의 아웃리저를 추가한 해석모델을 해석한 결과를 이용하여 외곽 기둥과 내부 전단벽의 수직방향 변위, 내부 전단벽의 역회전각에 의한 처짐, 아웃리저에 작용하는 전단력 등을 계산하였다. 그러므로 아웃리저의 두께가 320mm인 경우에는 실제값과 계산값이 완전히 일치한다.

표 2의 결과를 보면 아웃리저의 두께가 640mm인 경우에

는 약 10%정도 오차가 있지만 나머지 경우에는 상당히 정확하게 아웃리저의 두께가 계산됨을 알 수 있다.

#### 4.2 변경모델1

변경모델1은 해석모델에서 외곽 기둥의 단면을 800mm × 800mm로 변경한 것이다. 초고층건물에 아웃리저를 추가하면 외곽 기둥은 축력이 작용하므로 외곽 기둥의 단면은 아웃리저로 인한 최고층 횡변위 감소에 중요한 요소이다.

표 3은 변경모델1에서 제안식을 적용하기 위해서 필요한 기초적인 자료로서 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐 등을 나타낸 것이다. 해석모델에서와 마찬가지로 외곽 기둥 수직변위, 내부 전단벽 수직변위, 내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리저의 처짐의 변화량은 모두 최고층 횡변위의 감소량과 비례하였다. 전단변형에 의한 아웃리저의 처짐은 해석값보다 약 5%정도 크게 계산되었다.

변경모델1에 제안식을 적용하여 계산한 아웃리저의 두께 및 실제값과의 비율은 표 8에 나타냈다. 이 값들 역시 해석모델과 같이 아웃리저가 없는 것과 두께 320mm의 아웃리저를 추가하여 해석하여 얻은 결과에 제안식을 적용한 것이다. 아웃리저의 두께가 640mm인 경우에는 약 15%정도 크게 계산되지만 나머지 경우에는 정확한 계산값을 얻었다.

#### 4.3 변경모델2

변경모델2는 해석모델에서 연결보의 길이를 15,000mm로 증가시킨 것이다. 연결보의 길이가 증가하면 아웃리저의 길이도 동일하게 증가하므로 아웃리저의 강성에 영향을 미쳐서

표 3 변경모델1의 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐

아웃리저 두께	최고층 횡변위 감소량 $\delta_h$ (mm)	외곽 기둥 수직변위		내부 전단벽 수직변위		내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리저 처짐		전단변형에 의한 아웃리저의 처짐		
		증가량 $\delta_{col}$ (mm)	비율 $\delta_{col}/\delta_h$ (%)	감소량 $\delta_{core}$ (mm)	비율 $\delta_{core}/\delta_h$ (%)	증가량 $\delta_{rot}$ (mm)	비율 $\delta_{rot}/\delta_h$ (%)	해석값 $\delta_{shr}^{anal}$ (mm)	계산값 $\delta_{shr}^{calc}$ (%)	비율 $\delta_{shr}^{calc}/\delta_{shr}^{anal}$ (%)
5	44.25	6.49	14.66	3.05	6.89	0.53	1.19	68.22	73.76	108.12
10	75.99	11.14	14.66	5.23	6.88	0.91	1.19	58.86	63.34	107.61
20	118.59	17.37	14.65	8.16	6.88	1.42	1.20	46.30	49.43	106.74
40	165.09	24.16	14.64	11.35	6.88	1.99	1.21	32.62	34.40	105.47
80	205.97	30.10	14.62	14.14	6.87	2.51	1.22	20.64	21.46	103.98
160	235.86	34.41	14.59	16.17	6.85	2.90	1.23	11.95	12.29	102.85
320	255.02	37.12	14.56	17.44	6.84	3.16	1.24	6.46	6.64	102.76
640	266.33	38.67	14.52	18.17	6.82	3.31	1.24	3.33	3.47	104.14

표 4 변경모델2의 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐

아웃리거 두께	최고층 횡변위 감소량 $\delta_h$ (mm)	외곽 기둥 수직변위		내부 전단벽 수직변위		내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리거 처짐		전단변형에 의한 아웃리거의 처짐		
		증가량 $\delta_{col}$ (mm)	비율 $\delta_{col}/\delta_h$ (%)	감소량 $\delta_{core}$ (mm)	비율 $\delta_{core}/\delta_h$ (%)	증가량 $\delta_{rot}$ (mm)	비율 $\delta_{rot}/\delta_h$ (%)	해석값 $\delta_{shr}^{anal}$ (mm)	계산값 $\delta_{shr}^{calc}$ (%)	비율 $\delta_{shr}^{calc}/\delta_{shr}^{anal}$ (%)
5	80.61	5.64	7.00	5.18	6.42	1.24	1.54	118.68	139.12	117.22
10	141.00	9.87	7.00	9.05	6.42	2.24	1.59	103.85	121.67	117.16
20	225.48	15.78	7.00	14.48	6.42	3.64	1.62	83.12	97.29	117.05
40	322.01	22.53	7.00	20.67	6.42	5.25	1.63	59.45	69.47	116.86
80	409.92	28.66	6.99	26.29	6.41	6.71	1.64	37.92	44.22	116.61
160	475.08	33.20	6.99	30.45	6.41	7.80	1.64	22.01	25.62	116.42
320	516.57	36.07	6.98	33.09	6.41	8.47	1.64	11.95	13.93	116.60
640	540.65	37.73	6.98	34.62	6.40	8.80	1.63	6.20	7.29	117.59

표 5 변경모델3의 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐

아웃리거 두께	최고층 횡변위 감소량 $\delta_h$ (mm)	외곽 기둥 수직변위		내부 전단벽 수직변위		내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리거 처짐		전단변형에 의한 아웃리거의 처짐		
		증가량 $\delta_{col}$ (mm)	비율 $\delta_{col}/\delta_h$ (%)	감소량 $\delta_{core}$ (mm)	비율 $\delta_{core}/\delta_h$ (%)	증가량 $\delta_{rot}$ (mm)	비율 $\delta_{rot}/\delta_h$ (%)	해석값 $\delta_{shr}^{anal}$ (mm)	계산값 $\delta_{shr}^{calc}$ (%)	비율 $\delta_{shr}^{calc}/\delta_{shr}^{anal}$ (%)
5	6.64	0.84	12.69	0.62	9.31	0.21	3.15	29.44	21.82	74.13
10	12.38	1.57	12.68	1.15	9.31	0.39	3.15	27.48	20.34	74.02
20	21.80	2.76	12.67	2.03	9.30	0.69	3.16	24.26	17.91	73.83
40	35.22	4.45	12.65	3.27	9.28	1.11	3.16	19.69	14.47	73.50
80	51.00	6.43	12.61	4.72	9.25	1.62	3.17	14.35	10.48	73.01
160	65.96	8.28	12.55	6.07	9.21	2.10	3.19	9.35	6.77	72.46
320	77.60	9.69	12.48	7.11	9.16	2.48	3.20	5.53	3.99	72.10
640	85.41	10.61	12.42	7.79	9.12	2.73	3.20	3.04	2.19	72.22

아웃리거의 효과에 영향을 미친다.

표 4는 변경모델2에서 제안식을 적용하기 위해서 필요한 기초적인 자료를 계산하여 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 해석모델이나 변경모델1과 거의 유사했으며, 아웃리거의 처짐은 해석값보다 약 17%정도 크게 계산되었다.

표 8에는 변경모델2에 제안식을 적용한 결과가 나타나 있다. 앞의 모델들과 마찬가지로 아웃리거의 두께가 640mm인 경우에 오차가 있지만 나머지 경우에는 오차가 적은 결과를 얻었다.

4.4 변경모델3

변경모델3은 해석모델에서 연결보의 단면을 870mm×550mm로 증가시킨 것이다. 연결보는 아웃리거에 비해서 강

성이 매우 작지만 수가 많기 때문에 외곽 기둥에 작용하는 축력에 영향을 미친다. 그러므로 연결보는 아웃리거의 구조적 효과에 영향을 끼치는 중요한 요소이다.

표 5는 변경모델3에서 제안식을 적용하기 위해서 필요한 기초적인 자료를 계산하여 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 앞의 모델들과 거의 유사했으며, 아웃리거의 처짐은 해석값의 73%정도로 계산되었다.

표 8에는 변경모델3에 제안식을 적용한 결과가 나타나 있다. 역시 아웃리거의 두께가 640mm인 경우에 오차가 있지만 나머지 경우에는 오차가 적은 결과를 얻었다.

4.5 변경모델4

변경모델4는 해석모델에서 아웃리거를 20층과 40층에 2

표 6 변경모델4의 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐

아웃리거 두께	최고층 횡변위 감소량 $\delta_h$ (mm)	외곽 기둥 수직변위		내부 전단벽 수직변위		내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리거 처짐		전단변형에 의한 아웃리거의 처짐		
		증가량 $\delta_{col}$ (mm)	비율 $\delta_{col}/\delta_h$ (%)	감소량 $\delta_{core}$ (mm)	비율 $\delta_{core}/\delta_h$ (%)	증가량 $\delta_{rot}$ (mm)	비율 $\delta_{rot}/\delta_h$ (%)	해석값 $\delta_{shr}^{anal}$ (mm)	계산값 $\delta_{shr}^{calc}$ (%)	비율 $\delta_{shr}^{calc}/\delta_{shr}^{anal}$ (%)
5	17.70	1.13	6.36	0.83	4.72	0.30	1.71	37.89	48.10	126.97
10	31.32	1.99	6.36	1.48	4.71	0.53	1.71	33.59	42.55	126.67
20	50.90	3.24	6.36	2.40	4.71	0.87	1.71	27.42	34.57	126.11
40	74.10	4.71	6.36	3.49	4.71	1.27	1.72	20.11	25.16	125.15
80	96.07	6.11	6.36	4.52	4.71	1.66	1.73	13.19	16.31	123.69
160	113.01	7.18	6.35	5.32	4.70	1.96	1.74	7.87	9.59	121.86
320	124.18	7.88	6.34	5.84	4.70	2.17	1.75	4.39	5.27	120.14
640	130.83	8.29	6.34	6.14	4.70	2.29	1.75	2.33	2.78	119.12

표 7 변경모델5의 최고층 횡변위, 기둥과 전단벽의 수직변위 변화량, 전단벽 역회전각에 의한 처짐 변화량, 전단변형에 의한 처짐

아웃리거 두께	최고층 횡변위 감소량 $\delta_h$ (mm)	외곽 기둥 수직변위		내부 전단벽 수직변위		내부 전단벽 역회전각에 의한 아웃리거 처짐		전단변형에 의한 아웃리거의 처짐		
		증가량 $\delta_{col}$ (mm)	비율 $\delta_{col}/\delta_h$ (%)	감소량 $\delta_{core}$ (mm)	비율 $\delta_{core}/\delta_h$ (%)	증가량 $\delta_{rot}$ (mm)	비율 $\delta_{rot}/\delta_h$ (%)	해석값 $\delta_{shr}^{anal}$ (mm)	계산값 $\delta_{shr}^{calc}$ (%)	비율 $\delta_{shr}^{calc}/\delta_{shr}^{anal}$ (%)
5	8.04	0.66	8.16	0.39	4.86	0.37	4.62	34.64	31.00	89.49
10	14.70	1.20	8.15	0.71	4.86	0.68	4.62	31.69	28.33	89.40
20	25.08	2.04	8.15	1.22	4.86	1.16	4.63	27.09	24.17	89.23
40	38.81	3.16	8.14	1.88	4.86	1.80	4.63	21.02	18.70	88.98
80	53.50	4.35	8.14	2.60	4.85	2.48	4.64	14.53	12.89	88.69
160	66.09	5.37	8.13	3.20	4.85	3.07	4.64	8.99	7.96	88.52
320	75.02	6.09	8.12	3.63	4.84	3.47	4.62	5.09	4.52	88.76
640	80.57	6.54	8.11	3.90	4.84	3.69	4.58	2.71	2.43	89.68

표 8 변경모델 아웃리거 두께의 계산 결과

구분	변경모델1		변경모델2		변경모델3		변경모델4		변경모델5		
	기둥 단면 800mm×800mm		연결보 15,000mm		연결보 870mm×550mm		아웃리거 : 20층, 40층		변경사항 모두 적용		
	실제값	계산값	비율 (%)	계산값	비율 (%)	계산값	비율 (%)	계산값	비율 (%)	계산값	비율 (%)
아웃리거의 두께 (mm)	5	5.0	99.4	4.7	94.0	4.8	96.2	4.9	97.7	4.8	96.4
	10	9.9	98.9	9.4	94.0	9.6	96.0	9.8	97.6	9.6	96.4
	20	19.6	98.1	18.8	94.1	19.2	95.8	19.5	97.3	19.3	96.4
	40	38.8	97.0	37.7	94.2	38.2	95.5	38.8	97.0	38.7	96.7
	80	76.8	96.0	75.7	94.7	76.2	95.3	77.3	96.7	78.0	97.5
	160	153.8	96.1	153.6	96.0	153.6	96.0	155.3	97.1	160.0	100.0
	320	320.0	100.0	320.0	100.0	320.0	100.0	320.0	100.0	341.6	106.7
	640	734.7	114.8	714.7	111.7	728.2	113.8	704.3	110.0	808.7	126.4



개 추가한 것이다. 20층의 아웃리저 두께는 320mm이고, 40층의 아웃리저 두께는 5mm부터 2배씩 640mm까지 증가시켰다.

표 6은 변경모델4에서 제안식을 적용하기 위해서 필요한 기초적인 자료를 계산하여 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 앞의 모델들과 거의 유사했으며, 아웃리저의 처짐은 해석값의 120%정도로 계산되었다.

표 8에는 변경모델4에 제안식을 적용한 결과가 나타나 있다. 역시 아웃리저의 두께가 640mm인 경우에 오차가 있지만 나머지 경우에는 오차가 적은 결과를 얻었다.

#### 4.6 변경모델5

변경모델5는 변경모델1부터 변경모델4까지의 변경사항을 모두 적용한 것으로서, 외곽 기둥은 800mm×800mm, 연결 보는 길이 15,000mm, 870mm×550mm, 아웃리저는 20층과 40층에 추가하였다.

표 7은 변경모델5에서 제안식을 적용하기 위해서 필요한 기초적인 자료를 계산하여 나타낸 것이다. 전체적인 경향은 앞의 모델들과 거의 유사했으며, 아웃리저의 처짐은 해석값의 89%정도로 계산되었다.

표 8에는 변경모델5에 제안식을 적용한 결과가 나타나 있다. 역시 아웃리저의 두께가 640mm인 경우에 오차가 컸지만 나머지 경우에는 오차가 적은 결과를 얻었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 60층 규모의 철근콘크리트 초고층건물을 대상으로 구조해석을 수행하여 아웃리저의 추가에 따른 초고층건물의 하중 전달 방식과 변형 양상을 분석하고, 이를 바탕으로 최고층 횡변위를 조절하기 위해서 필요한 전단벽 아웃리저의 두께를 산정할 수 있는 식을 제안하였다. 그리고 이를 여러 조건의 초고층건물에 적용하여 그 타당성을 검토하였다.

검토 결과 아웃리저의 두께가 320mm이하인 경우에는 만족할 만한 결과를 얻었다. 하지만 아웃리저의 두께가 640mm인 경우에는 대부분 오차가 10%이상이었다. 이는 아웃리저의 두께가 증가하는 비율이 아웃리저에 작용하는 전단력이 증가하는 비율보다 훨씬 커서 아웃리저의 두께가 두

꺼워 질수록 전단변형이 급격하게 작아지기 때문이다. 그러므로 아웃리저의 전단변형을 계산한 오차가 2~3mm만 되어도 본 연구의 제안식을 이용하여 계산한 아웃리저의 두께는 급격히 증가한다.

이상의 내용을 종합하면 본 연구의 제안식을 이용하면 60층 규모의 초고층건물에서 콘크리트 전단벽 아웃리저의 두께를 350mm 정도까지는 비교적 정확하게 계산할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2006학년도 동명대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임.

### 참 고 문 헌

- 김영학, 한범석, 안종문, 신성우 (2003) 초고층 건축물의 횡력 저항 시스템에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 23(2), pp.297~300.
- 김지영, 김명한, 홍원기, 김상대 (1997) 아웃트리저 보의 분포 및 개수에 따른 구조적 거동 및 효율성 비교연구, 대한건축학회 논문집, 13(4), pp.351~359.
- Hoenderkamp, J.C.D., Bakker, M.C.M. (2003) Analysis of High-Rise Braced Frames with Outriggers, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, John Wiley & Sons, Inc., 12(4), pp.335~350.
- McNabb, J.W., Muvdi, B.B. (1975) Drift reduction factors for belt high-rise structures, *Engineering Journal*, 3rd Quarter, pp.88~91.
- Smith, B.S., Coull, A. (1991) *Tall Building Structures - Analysis and Design*, John Wiley & Sons Inc.
- Smith, B.S., Salim, I. (1981) Parameter study of outrigger braced tall building structures, *Journal of Structural Engineering*, 107(T10) pp.2001~2014.
- Wu, J.R., Li, Q.S. (2003) Structural Performance of Multi-Outrigger-Braced Tall Buildings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 12(2), pp.155~176.