

고층 건물의 아웃리거 벽체에 의한 외부 기둥의 전단력 해석

황 일 도¹ · 김 한 수^{1*}

¹건국대학교 건축학과

Analysis of Shear Force in Perimeter Column due to Outrigger Wall in a Tall Building

Yi-Tao Huang¹ and Han-Soo Kim^{1*}

¹Department of Architecture, Konkuk Univ., Seoul, 05029, Korea

Abstract

Steel truss outriggers can be replaced by reinforced concrete walls to control the lateral drift of tall buildings. When reinforced concrete outrigger walls are connected to perimeter columns, not only axial forces but also shear forces and moments can be induced on the perimeter columns. In this study, the shear force of the perimeter column due to the rotation of the outer edge of the outrigger wall is derived as analytic equations and the result is compared with the finite element analysis result. In the finite element analysis, the effects of connecting beams at each floor and the effect of modeling shear walls and outriggers with beam element and plane stress element was analyzed. The effect of the connecting beam was almost negligible and the plane stress element was determined to have greater stiffness than the beam element. The inter-story rotation and the shear force of the perimeter column due to the rotation of the outer edge of the outrigger wall was considerably smaller than the allowable value. Therefore, even if the outrigger wall made of reinforced concrete is applied to a tall building, it is considered that there is no need to study the shear force and moment induced in the perimeter columns.

Keywords : tall building, outrigger, shear wall, shear force, rotation, perimeter column

1. 서 론

초고층 건물 코어 전단벽의 수평 변위와 모멘트를 감소시키는 역할을 하는 아웃리거를 적용한 고층 건물의 사례가 최근 증가하고 있다. 아웃리거에 관한 연구는 주로 아웃리거에 의한 초고층 건물의 횡변위 감소 효과에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다. Tarath(1975)는 한 아웃리거의 최적 위치가 건물 중간 높이에 가깝고 상단으로부터 전체 높이의 0.455임을 제안하였다. McNabb 등(1975)은 두 개의 아웃리거의 최적 위치가 상단으로부터 전체 높이의 0.312와 0.685임을 발표하였다. Smith 등(1981)은 아웃리거 구조에 대한 근사 해석 방법을 제안하였다. Rutenberg 등(1987)은 강성이 무한히 큰 아웃리거 두 개를 설치한다고 가정하고 건물의 높이에 따라서 중심 전단벽과 주변 외부 기둥이 변화하는 초고층 구조에 대해 내력과

변위를 계산하고 분석하였다. 또한 3개 이상의 아웃리거가 있을 경우의 최적 위치에 대한 연구도 진행되어 왔다(Wu *et al.*, 2003; Hoenderkamp *et al.*, 2003)

아웃리거는 외부기둥에 축력을 유발함으로써 초고층 건물의 횡변위를 감소시키거나(Smith *et al.*, 1991) 중력하중을 분산시키는 역할을(Kang *et al.*, 2011) 한다. 이러한 아웃리거의 원리에 부합할 수 있도록 아웃리거가 초고층 건물에 적용되던 초기에는 아웃리거를 삼각형 형태의 트러스로 만들어 외부 기둥과 하나의 지점에서 연결되도록 하였다(Ho, 2016). 하지만 철근콘크리트구조 또는 합성구조를 주로 사용하는 최근의 초고층 건물에서는 철근콘크리트 깊은 보로 만드는 경우가 많아지고 있다(Choi *et al.*, 2012; Chung *et al.*, 2015). 아웃리거를 깊은 보로 만드는 경우에는 아웃리거와 연결된 외부 기둥에 축력뿐만 아니라 아웃리거의 외단부의 회전으로 인하여

* Corresponding author:

Tel: +82-10-3042-9336; E-mail: hskim@konkul.ac.kr

Received August 7 2018; Revised October 16 2018;

Accepted October 30 2018

©2018 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

휨과 전단력도 유발될 수 있다. 지금까지의 아웃리거에 관한 연구는 주로 초고층 건물의 횡변위에 직접적인 영향을 주는 외부기둥의 축력에만 관심을 기울였지만 아웃리거 벽체에 의한 외부기둥의 휨과 전단력에 대해서는 거의 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 아웃리거 벽체를 가진 고층 건물에서 외부기둥에 발생하는 전단력의 크기를 수식을 이용한 방법과 수치해석을 이용한 방법을 이용하여 평가해 보았다.

2. 아웃리거에 의한 외부 기둥의 휨과 전단력

아웃리거를 가진 초고층 건물에서 아웃리거에 의해 발생하는 외부기둥의 전단력을 평가하기 위하여 중심 코어 전단벽, 아웃리거, 외부기둥으로 구성된 해석 모델을 이용하였다. Smith 등(1981)은 전단벽과 아웃리거는 휨변형만을 갖는 보요소로 보고 외부기둥은 축변형만 발생하는 트러스요소로 보는 단순 모델을 이용하여 아웃리거의 최적 위치를 제시하였다. 본 연구에서도 아래와 같이 가정한 단순 모델을 이용하여 아웃리거에 의해 발생하는 외부 기둥의 전단력을 유도하였다.

- (1) 선형 탄성 거동을 한다.
- (2) 코어 전단벽은 지면에 고정된 캔틸레버보이다.
- (3) 아웃리거는 전단벽에 연결된 캔틸레버보이다.
- (4) 외부 기둥은 지면과 아웃리거에 연결된 트러스이다.
- (5) 전단벽, 아웃리거, 기둥의 단면은 일정하다.
- (6) 횡하중은 건물의 높이에 따라 균일하게 분포한다.

외부 기둥의 전단강성에 비하여 아웃리거의 횡강성이 아주 크므로 우선 외부 기둥은 축력만을 받는 트러스로 가정하여 아웃리거의 단부의 회전변위를 유도하고 이 회전변위에 의해 발생하는 외부기둥의 전단력을 산정하기로 한다. MIDAS Gen을 이용한 수치해석에서는 외부기둥을 보요소로 하고 아웃리거와 전단벽은 보요소 또는 평면응력요소로 모델링하여 외부 기둥에 발생하는 전단력을 직접 구하도록 한다.

Fig. 1과 같이 횡방향 등분포 하중 w 가 작용하는 높이 H 의 고층 건물에서 최상층으로부터 X 만큼 떨어진 위치에 하나의 아웃리거가 설치되어 있을 때 아웃리거에 의한 구속 모멘트 M_r 이 작용한다. 횡하중과 구속 모멘트를 받는 전단벽에서 아웃리거가 연결된 X 에서의 회전각 θ_t 를 구하면 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$\theta_t = \frac{1}{EI} \int_X^H \left(\frac{wx^2}{2} - M_r \right) dx \tag{1}$$

$$= \frac{w(H^3 - X^3)}{6EI} - \frac{M_r(H - X)}{EI}$$

여기서, EI 는 코어 전단벽의 휨강성이다.

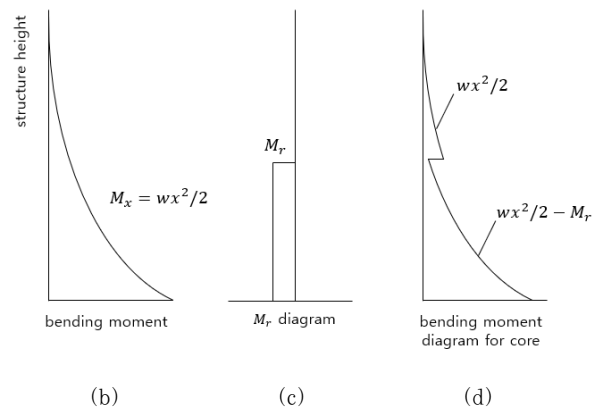
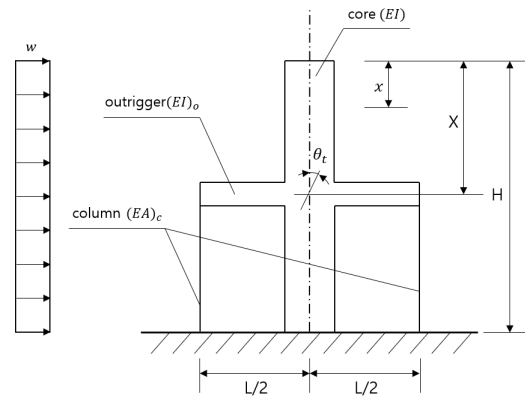


Fig. 1 (a) Structure dimensions and external loading (b) Bending moment diagram (c) Restraining moment due to outrigger (d) Resultant bending moment in shear wall

아웃리거는 외부 기둥의 축변형에 의하여 강제변위가 발생하는 동시에 구속 모멘트 M_r 의 반력에 의해 회전변형이 발생하므로 아웃리거 내단부의 회전각 θ_{ot} 은 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)에 보인 바와 같이 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_{ot} = \frac{2M_r(H - X)}{L^2(EA)_c} + \frac{M_r L}{12(EI)_o} \tag{2}$$

여기서, $(EA)_c$ 는 외부 기둥의 축강성이고 $(EI)_o$ 는 아웃리거의 휨강성이다.

변위의 적합조건에 의해 $\theta_t = \theta_{ot}$ 이므로 구속 모멘트 M_r 은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$M_r = \left[\frac{w(H^3 - X^3)}{6EI} \right] \left[\frac{1}{\frac{(H - X)}{EI} + \frac{2(H - X)}{L^2(EA)_c} + \frac{L}{12(EI)_o}} \right] \tag{3}$$

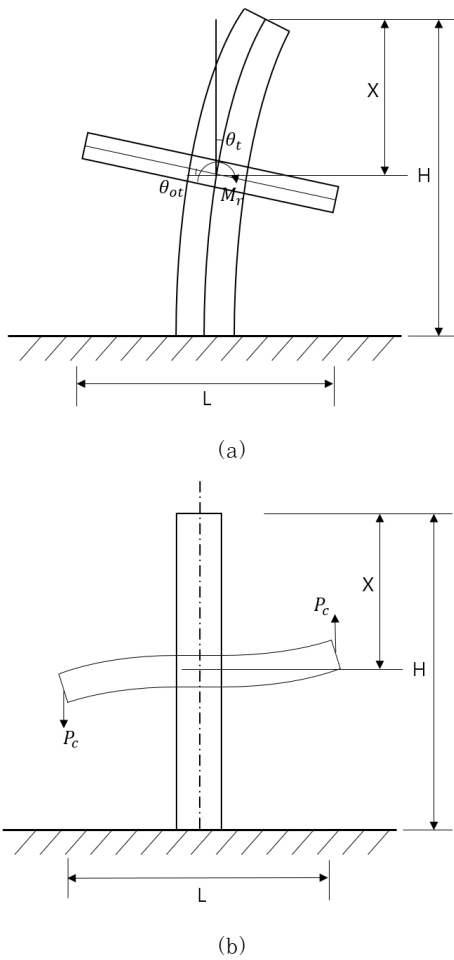


Fig. 2 (a) Deformation of outrigger due to restraining moment (b) Deformation of outrigger due to axial force in column

아웃리저를 가진 초고층 건물의 최상층 변위 Δ_o 는 모멘트-면적법(moment-area method)을 이용하여 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta_o = \frac{wH^4}{8EI} - \frac{M_r(H^2 - X^2)}{2EI} \quad (4)$$

아웃리저의 외단부 회전에 의한 외부 기둥의 전단력을 구하기 위하여 아웃리저와 외부 기둥과 연결된 외단부의 회전변위를 구하여야 한다. 내단부에 구속 모멘트 M_r 의 반력이 작용할 때의 식 (2)에 의해 주어진 내단부의 회전각에 회전-처짐법(slope-deflection method)을 적용하면 외단부의 회전각 θ_{oc} 은 다음 식과 같다.

$$\theta_{oc} = \frac{2M_r(H - X)}{L^2(EA)_c} - \frac{M_r L}{24(EI)_o} \quad (5)$$

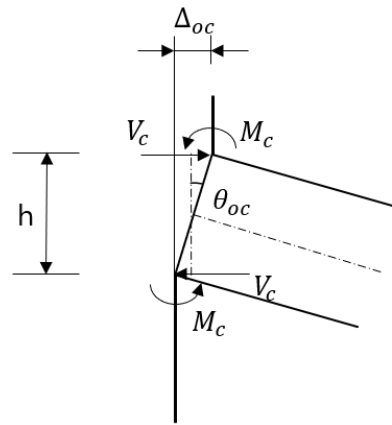


Fig. 3 Diagram of junction of exterior column and outrigger

또한 아웃리저의 외단부에 외부 기둥의 축력 $P_c = M_r/L$ 으로 인한 외팔보의 회전각을 이용하여 아래와 같이 동일한 외단부 회전각을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_{oc} &= \theta_{ot} - \frac{P_c(L/2)^2}{2(EI)_o} = \theta_{ot} - \frac{M_r L}{8(EI)_o} \\ &= \frac{2M_r(H - X)}{L^2(EA)_c} - \frac{M_r L}{24(EI)_o} \end{aligned} \quad (6)$$

Fig. 3에서 주어진 것처럼 아웃리저 외단부의 회전에 의하여 발생하는 아웃리저 외단부의 하단과 상단과의 수평변위 차이 Δ_{oc} 는 아래와 같이 아웃리저 외단부의 회전각 θ_{oc} 과 아웃리저의 높이 h 의 곱으로 구할 수 있다.

$$\Delta_{oc} = h\theta_{oc} \quad (7)$$

아웃리저와 연결된 외부 기둥에도 Δ_{oc} 의 수평변형이 발생하므로 외부 기둥의 아웃리저와 연결된 부분에 발생하는 휨모멘트 M_c 와 전단력 V_c 은 각각 아래와 같다.

$$M_c = \frac{6(EI)_c}{h^2} \Delta_{oc} = \frac{6(EI)_c}{h} \theta_{oc} \quad (8)$$

$$V_c = \frac{12(EI)_c}{h^3} \Delta_{oc} = \frac{12(EI)_c}{h^2} \theta_{oc} \quad (9)$$

여기서, $(EI)_c$ 는 외부 기둥의 휨강성이다.

앞에서 언급한 바와 같이 아웃리저의 외단부 회전각을 계산할 때는 외부 기둥은 축력만을 받는 트러스로 가정하고 회전각을 구한 후 아웃리저에 의한 외부 기둥의 휨과 전단력을 계산할 때는 외부 기둥을 보로 가정하였다.

3. 수치 해석

아웃리거에 대한 대부분 연구는 Taranath(1975)모델, Smith(1981)모델과 Hoenderkamp(2003)모델을 참고하여 수행되었다. 본 논문에서는 Smith(1981)모델을 근거로 한 아웃리거가 있는 모델-1을 만들고 Fig. 4(a)에 보인 바와 같은 구체적인 수치를 대입하여 그 해석 결과를 계산한다. 모델-2는 모델-1에서 사용한 간략 모델의 가정들을 그대로 적용한 MIDAS Gen모델이다. 모델-3은 모델-2에 층별 연결보를 추가한 모델이다. 모델-4는 코어 전단벽과 아웃리거를 보요소가 아닌 0.5m×0.5m의 평면응력요소를 이용한 모델로 모델-3과 마찬가지로 층별 연결보가 추가된 모델이다. 모델-4가 실제 구조물과 가장 유사한 거동을 보일 것으로 예상된다. Fig. 4(b)~(d)에 나타난 바와 같이 모델-2, 모델-3, 모델-4는 외부 기둥과 전단벽의 바닥은 고정 경계조건을 사용하였다. 추가적인 모델링 조건은 다음과 같다.

- (1) 각 층의 높이 h_0 가 3.5m이고 총 층수가 80층으로 총 높이 H 는 280m이다. 두께 t_w 는 1.0m인 아웃리거는 39층, 40층, 41층에서 설치되며 아웃리거의 높이 h 는 10.5m이다.
- (2) 바닥슬래브의 강막 작용은 고려하지 않는다. 강막 작용과 동일한 거동을 할 수 있도록 20kN/m의 수평하중은 전단벽에 수직 중심선에 직접 작용시킨다.
- (3) 연결보는 폭이 0.5m이고 높이가 0.1m인 콘크리트보이고 코어 및 외부 기둥과 핀 연결된다.

MIDAS Gen을 이용하여 해석한 모델-2, 3, 4의 전단벽과 기둥에서의 수평변위와 층간 상대변위를 살펴보면 Fig. 5와 같다. Fig. 5(a)와 5(b)는 전단벽의 중심에서의 값을 나타낸 것이며 전단벽에서는 모델-2와 모델-3의 수평변위와 상대변위가 거의 유사하고, 모델-4가 다소 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 모델-3의 보요소보다는 모델-4의 평면응력요소의 강성이 크기 때문으로 판단된다. Fig. 5(c)와 5(d)는 외부 기둥에서의 값을 나타낸 것이며 외부기둥에서는 모델-2와 모델-3의 값이 상이함을 알 수 있다. 이는 모델-3에서는 층간 연결보가 있지만 모델-2에서는 없기 때문이다. 모델-3과 모델-4에서는 아웃리거가 설치된 위치에서 큰 상대변위 변화가 있음을 알 수 있다.

식 (1)에서 식 (9)까지의 수식을 이용한 모델-1의 해석결과와 MIDAS Gen을 이용한 모델-2, 모델-3과 모델-4의 해석결과를 값으로 비교해 보기 위하여 그 해석 결과를 Table 1에 나타내었다. 우선 최상층에서의 수평변위를 살펴보면 모델-1과 모델-2의 결과는 거의 동일하다. 이는 모델-2가 모델-1과 마찬가지로 전단벽과 아웃리거를 보요소로 모델링하였으며 층별 연결보의 영향을 동일하게 고려하지 않았기 때문이다. 모델-3의

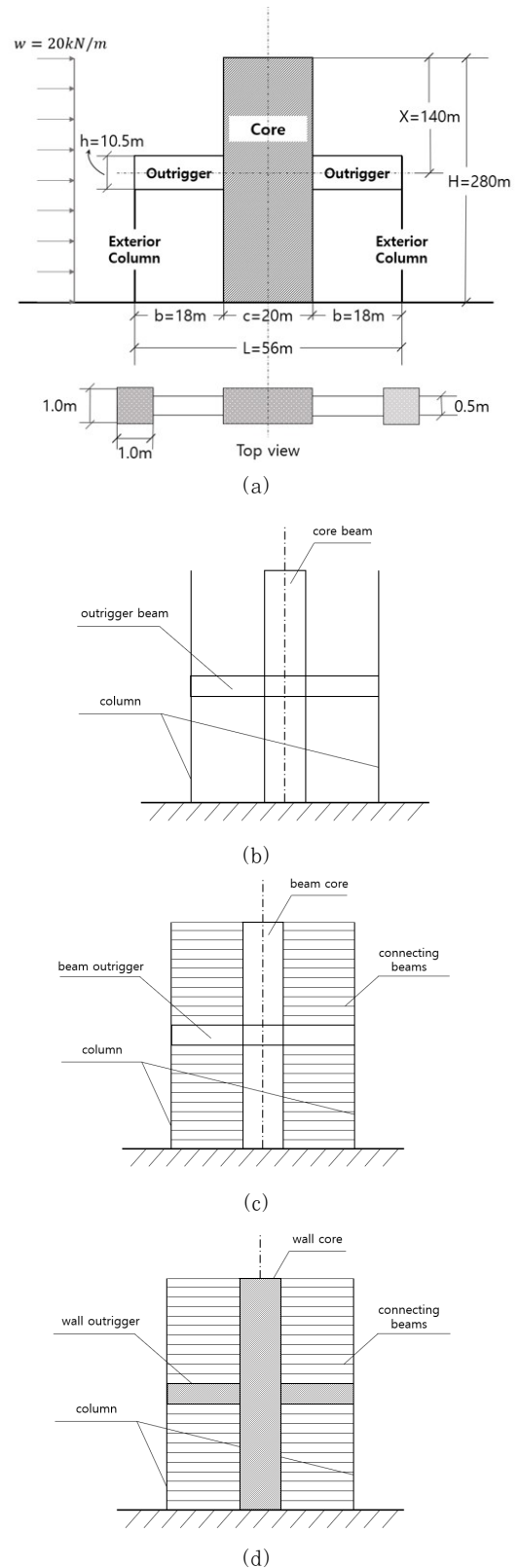
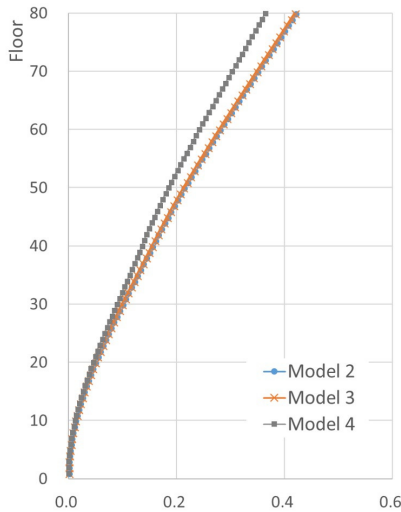


Fig. 4 (a) Configuration of analysis model (b) Model-2 (c) Model-3 (d) Model-4

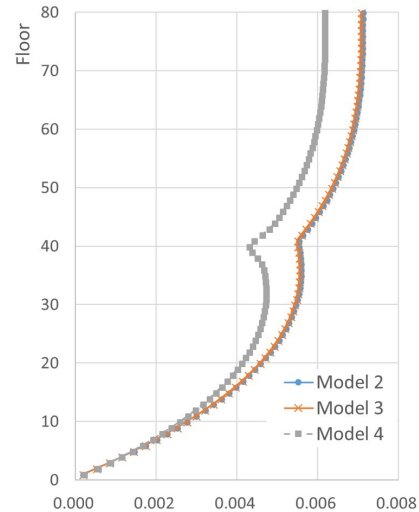
최상층 수평변위가 모델-1과 모델-2보다 다소 감소한 것은 층별 연결보의 영향 때문이지만 그 영향은 크지 않은 것으로 보인다.

Table 1 Analysis results of outrigger models

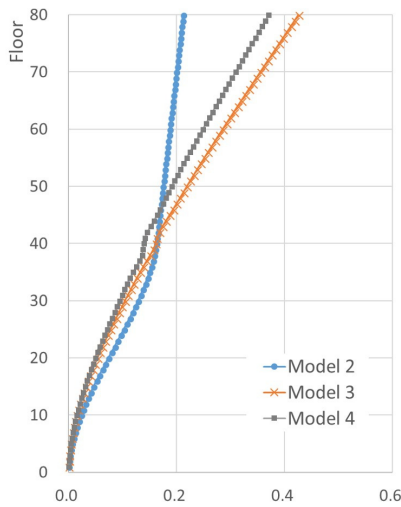
| | Δ_o (m) | Δ_{oc} (m) | P_c (kN) | V_c (kN) | M_c (kNm) |
|---------|-------------------|----------------------|---------------|---------------|----------------|
| Model-1 | 0.42744 | 0.003700 | 4312.6 | 92.1 | 46.0 |
| Model-2 | 0.42729 | 0.003696 | 4313.7 | / | / |
| Model-3 | 0.42561 | 0.003635 | 4332.5 | / | / |
| Model-4 | 0.37054 | 0.005156 | 5097.5 | 123.6 | 649.1 |



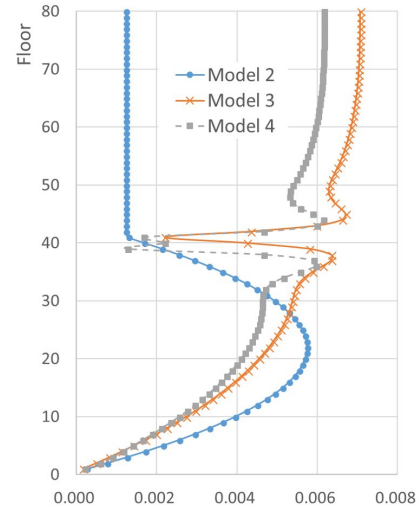
(a) Lateral displacement at shear wall(m)



(b) Relative lateral displacement at shear wall(m)



(c) Lateral displacement at column(m)



(d) Relative lateral displacement at column(m)

Fig. 5 Lateral displacement at shear wall and column of Model 2, 3 and 4

모델-4의 최상층 수평변위는 다른 모델의 값에 비하여 약 13.3%정도 감소한 것으로 나타났다. 이는 모델-4에서는 전단벽과 아웃리거를 보요소가 아닌 평면응력요소를 이용하여 모델링하여 아웃리거의 깊은보로서의 전단강성 효과가 반영된 결과로 판단된다.

아웃리거 외단부의 하단과 상단과의 수평변위 차이 Δ_{oc} 를 살펴보면 모델-1,2,3은 거의 유사하고 모델-4는 다른 모델과 비교하여 39.4%정도 크게 발생하였다. 하지만 모델-4에서

발생한 수평변위 차이를 아웃리거의 높이 10.5m로 나누어서 외단부의 회전각 θ_{oc} 를 평가해 보면 다음과 같다.

$$\theta_{oc} = \Delta_{oc}/h = 0.000491 = 1/2036 \quad (10)$$

일반적으로 설계기준에서는 기둥의 허용 처짐각을 정의하고 있지 않지만, ACI 318-14(18.14.5.1)에서는 내진저항시스템의 일부로 설계되지 않은 구조부재를 위한 규정에서 보가 없는

이방향 슬래브를 지지하는 기둥의 슬래브-기둥 접합부의 전단 보강근을 배근하지 않을 수 있는 기준의 허용 층간 변위각을 식 (11)과 같이 제시하고 있다. 또한 층간 변위각이 식 (12)와 같이 0.005보다 작으면 전단 보강을 하지 않아도 되도록 허용하고 있다(ACI 2014).

$$\frac{\Delta_x}{h_{sx}} \leq 0.035 - \left(\frac{1}{20}\right) \left(\frac{v_{ug}}{\phi v_c}\right) \quad (11)$$

$$\frac{\Delta_x}{h_{sx}} \leq 0.005 \quad (12)$$

여기서, Δ_x 와 h_{sx} 는 각각 x 층에서의 수평변위와 층높이이다. v_{ug} 는 기둥-슬래브 접합부에 작용하는 계수전단응력이고 ϕv_c 는 콘크리트의 이방향 설계전단강도에 해당하는 응력이다.

아웃리거와 연결된 기둥의 회전각과 지진하중이 작용할 때의 이방향 슬래브의 전단보강 설계 문제를 위한 ACI 규정을 직접 비교하기는 적절하지 않을 수 있지만 식 (12)을 통하여 식 (10)으로 계산된 허용각이 상당히 작은 값을 간접적으로 알 수 있다.

아웃리거와 연결된 외부 기둥에 작용하는 축력을 비교해 보면 모델-4의 경우가 다른 모델에 비하여 18.2%정도 큰 값을 보이고 있다. 이 또한 모델-4에 적용된 아웃리거의 전단강성에 의하여 최상층 변위가 감소하는 만큼 외부 기둥에는 보다 큰 축력을 유발하고 있음을 알 수 있다.

아웃리거와 연결된 외부 기둥에 작용하는 전단력과 모멘트를 살펴보면 모델-1과 모델-4의 값이 비교적 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 모델-1은 식 (9)와 (8)을 각각 이용하여 기둥의 전단력과 모멘트를 계산하였다. 하지만 코어 전단벽과 아웃리거 벽체를 보요소를 이용하여 모델링한 모델-2와 모델-3의 경우에는 아웃리거를 나타내는 보요소가 기둥에 한 점에서 연결되므로 기둥에는 아웃리거 벽체의 회전으로 인한 전단력과 모멘트가 해석되지 않는다. 반면에 코어 전단벽과 아웃리거 벽체를 평면응력요소를 이용하여 모델링한 모델-4의 경우에는 아웃리거 외단부의 상단과 하단에 연결된 기둥에는 Fig. 6에 나타낸 바와 같은 전단력과 모멘트 분포를 보인다. 모델-4의 값과 모델-1의 값을 비교해 보면 전단력의 경우에는 모델-4의 값이 작고 모멘트의 경우에는 상당히 크게 산출되었다. 모델-1의 전단력과 모멘트는 아웃리거의 외단부 회전각을 계산할 때는 외부 기둥을 축력만을 받는 트러스로 가정하고 아웃리거에 의한 외부 기둥의 휨과 전단력을 계산할 때는 외부 기둥을 보로 가정하여 구한 값이므로 모델-4의 값이 더욱 정확할 것으로 판단된다.

산출된 전단력이 어느 정도의 수준인지를 알아보기 위하여 ACI 318-14에서의 콘크리트의 전단강도와 비교하여 보았다.

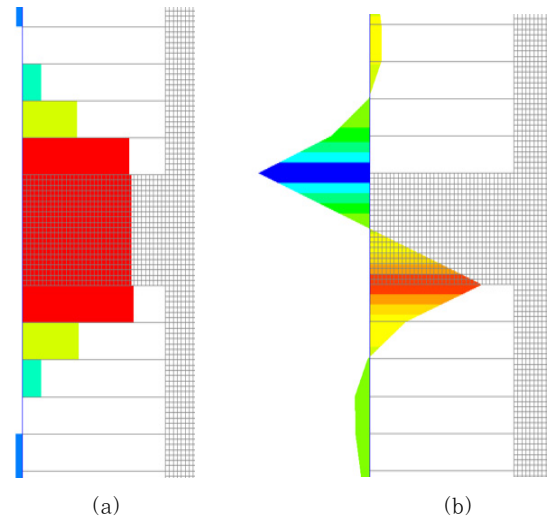


Fig. 6 Internal force of Model-4 at the column connected to outrigger wall (a) shear force diagram (b) bending moment diagram

철근콘크리트 단면의 전단강도는 콘크리트의 전단강도와 전단 보강근의 전단강도의 합으로 나타내어지지만, 여기에서는 식 (13)으로 주어지는 콘크리트만의 전단강도와 비교한다.

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (13)$$

여기서, V_c 는 콘크리트의 공칭전단강도이고 f'_c 는 콘크리트의 설계압축강도이다. b_w 는 부재의 유효 너비이며 d 는 부재 유효 높이이다.

해석모델의 기둥 단면을 적용하여 약산해 보면

$$V_c = 0.17 \sqrt{35} \times 1000 \times 1000 / 1000 = 1005.7 \text{ kN} \quad (14)$$

모델-4에서의 전단력 123.6kN과 비교해 보면 아웃리거의 회전에 의해 외부기둥에 작용하는 전단력은 상당히 작은 값을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 벽체로 된 아웃리거의 외단부 회전으로 유발되는 외부기둥의 전단력을 평가하여 보았다. 철골 트러스로 만들어진 기존의 아웃리거는 외부 기둥과 한점에서 연결됨으로써 외부 기둥에는 축력만을 유발한다. 하지만 철근 콘크리트 벽체로 되어 있을 때는 아웃리거의 상단과 하단이 외부 기둥에 연결됨으로써 외부 기둥에 축력뿐만 아니라 전단력과 모멘트를 유발할 것으로 예상된다. 아웃리거의 외단부 회전을

기존의 내단부의 회전각을 위한 해석해와 회전-처짐법을 이용하여 아웃리거 외단부의 회전각을 유도하였다. 아웃리거 벽체의 외단부에 연결된 외부 기둥의 강성은 상대적으로 아주 작다고 보고 아웃리거 외단부 회전각으로 인한 외부 기둥의 전단력과 모멘트를 해석적으로 구할 수 있도록 수식을 제시하였다. 수치 해석 예를 통하여 제시된 수식을 이용한 결과와 유한요소법을 이용한 결과를 비교하였다. 유한요소법을 이용한 해석에서는 층간 연결보의 영향과 보가 아닌 평면응력요소의 효과도 살펴 보았다.

수평변위와 층간 상대변위에서는 수식을 이용한 해석 결과와 유한요소법을 이용한 결과가 거의 유사하게 나왔다. 유한요소법을 이용한 해석 결과의 비교에서는 전단벽과 아웃리거 벽체를 평면응력요소로 모델링한 경우가 보로 모델링한 경우보다 수평강성을 더 크게 평가한 결과가 나왔다. 층별 연결보는 해석 결과에 거의 영향을 주지 않는 것으로 평가되었다. 아웃리거 벽체에 의하여 유발되는 외부 기둥의 회전각과 전단력과 모멘트는 비록 유한요소법을 이용한 결과가 수식을 이용한 결과보다 더 크게 산출되었지만 허용층간변위 및 부재의 공칭강도와 비교해 보면 상당히 작은 값으로 평가되었다. 따라서 초고층 건물에 철근콘크리트로 된 아웃리거 벽체를 적용할 경우에도 아웃리거 외단의 회전각이 크지 않다면 외부 기둥에 유발되는 전단력과 모멘트에 대하여 별도의 검토를 할 필요는 없을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2017R1A-2B4010043).

References

ACI (2014) Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14), American Concrete Institute, Farmington Hills, p.519.

- Choi, H.S., Tomasetti, T. (2012) Outrigger System Design Considerations, *Int. J. High-Rise Build.*, 1(3), pp.237~246.
- Chung, K.R., Sunu, W.I. (2015) Outrigger Systems for Tall Buildings in Korea, *Int. J. High-Rise Build.*, 4(3), pp.209~217.
- Ho, G.W.M. (2016) The Evolution of Outrigger System in Tall Buildings, *Int. J. High-Rise Build.*, 5(1), pp.21~30.
- Hoenderkamp, J.C.D., Bakker, M.C.M. (2003) Analysis of High-rise Braced Frames with Outriggers, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 12, pp.335~350.
- Kang, S.M., Eom, T.S., Kim, J.Y. (2010) Case Studies for Analyzing Effects of Outriggers on Gravity Load Managements, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 23(3), pp.255~266.
- McNabb, J.W., Muvdi, B.B. (1975) Drift Reduction Factors for Belt High-rise Structures, *Eng. J.*, 3rd Quarter, pp.88~91.
- Rutenberg, A., Tal, D. (1987) Lateral Load Response of Belted Tall Building Structures, *Eng. Struct.*, 10(3), pp.291~305.
- Smith, B.S., Coull, A. (1991) *Tall Building Structures: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York, p.537.
- Smith, B.S., Salim, I. (1981) Parameter Study of Outrigger-Braced Tall Building Structures, *J. Struct. Div., ASCE*, 107, pp.2001~2014.
- Taranath, B.S. (1975) Optimum Belt Truss Location for High-rise Structures, *Struct. Eng.*, 53(8), pp.18~21.
- Wu, J.R., Li, Q.S. (2003) Structural Performance of Multi-outrigger Braced Tall Buildings, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 12, pp.155~176.

요 지

초고층 건물의 횡변위 제어를 위하여 사용되는 아웃리거를 기존의 철골 트러스 대신에 철근콘크리트 벽체로 대체할 수 있다. 철근콘크리트 아웃리거 벽체를 외부 기둥에 연결할 경우에는 축력뿐만 아니라 전단력과 모멘트가 외부 기둥에 유발될 수 있다. 본 연구에서는 아웃리거 벽체 외단부의 회전으로 인한 외부 기둥의 전단력을 수식으로 유도하고 그 값을 유한요소 해석 결과와 비교하였다. 유한요소해석에서는 층별 연결보의 효과와 전단벽과 아웃리거를 보와 평면응력요소로 모델링한 효과를 분석하였다. 층별 연결보의 효과는 거의 없었으며 평면응력요소는 보요소보다 더 큰 강성을 가진 것으로 해석되었다. 아웃리거 벽체의 외단부 회전으로 인한 외부기둥의 층간 회전각과 전단력은 허용값에 비하여 상당히 작은 값이 발생하였다. 따라서 초고층 건물에 철근콘크리트로 된 아웃리거 벽체를 적용할 경우에도 외부 기둥에 유발되는 전단력과 모멘트에 대하여 별도의 검토를 할 필요는 없을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 고층 건물, 아웃리거, 전단벽, 전단력, 회전각, 외부 기둥