

# 병렬코아를 갖는 아웃리거구조물의 응력과 변위

## Forces and Displacements of Outrigger-Braced Structures with a Pair of Coupled Cores

정 동 조†

Jung, Dong-Jo

이 태 희\*

Lee, Tea-Hee

(논문접수일 : 2003년 4월 23일 ; 심사종료일 : 2003년 8월 28일)

### 요 지

본 연구에서는 연속체해석을 토대로, 병렬코아를 갖는 아웃리거구조물의 수평하중에 대한 응력과 변위를 구하기 위한 방법을 제안하였고, 아웃리거의 위치에 따른 구조물의 거동에 대해 연구하였다. 아웃리거와 코아가 만나는 위치에서 코아의 회전변위가 아웃리거의 회전변위와 일치한다는 적합조건으로부터 아웃리거의 구속모멘트, 코아의 휨모멘트, 기둥의 축방향력, 그리고 구조물의 수평변위 등을 유도하였다.

구조모델들을 이용하여 MIDAS-GEN 프로그램에 의한 결과와 비교하였고, 병렬코아를 갖는 아웃리거구조물에 대해 만족할 만한 결과를 얻었다. 구조물 최상단의 수평변위는 코아의 위치보다는 아웃리거의 위치에 의해 크게 영향을 받는 것으로 조사되었다.

비록, 이 논문에서 제시된 공식들이 이상적인 아웃리거구조물에 대한 것이지만 병렬코아를 갖는 실제 아웃리거구조물의 응력과 변위의 근사치를 추정하고, 구조물의 거동을 예측하기 위한 수단으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

**핵심용어** : 아웃리거, 병렬코아, 구속모멘트, 코아 휨모멘트, 수평변위

### Abstract

Based on the continuum approach, an investigation is made to get the forces and displacements of laterally loaded outrigger braced structures with a pair of coupled cores, and to show the effect of stiffening outriggers on the behavior of the structure. From the condition that the rotation of the core at the outrigger level is matched with the rotation of the corresponding outrigger, the outrigger restraining moment is derived analytically. From this, the core moment diagram, the column axial forces, and the horizontal displacements of the structure may be determined.

Comparisons with the results by the program MIDAS-GEN for the structural models, have shown that this analysis can give reasonably accurate results for outrigger-braced structures with a pair of coupled cores. And a lateral displacement at the top of the structure is influenced by the outrigger location than the core location.

Although the formulae are accurate only for idealized outrigger braced structures, they have a useful practical purpose in providing a guide to the behavior, and for making approximate estimates of the forces and displacements, in practical outrigger braced structures with a pair of coupled cores.

**Keywords** : outrigger, coupled core, restraining moment, core moment, horizontal deflection

### 1. 서 론

건축구조물의 고층화는 구조재료의 혁신과 컴퓨터 기술

및 새로운 구조시스템의 개발 등으로 인해 효율적이고 경제적인 구조설계가 가능해짐에 따라 빠르게 발전되어 왔다. 건물의 고층화를 위해 부재의 치수를 증가시켜 부재가

† 책임저자, 정회원 · 전주대학교 공학부 부교수  
전화: 063-220-2621 ; Fax: 063-220-2621  
E-mail: jung2621@jeonju.ac.kr

\* 전주대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2003년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2004년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

필요한 강도 이상을 가지도록 하는 방법은 한계가 있으며 비경제적이다. 따라서 건물의 구조시스템을 개선시켜 보다 강성이 크고 안정된 구조물을 만드는 것이 합리적이다. 고층구조물의 경우, 설계의 초기단계에서 합리적이고 효율적인 구조시스템을 선택하는 것이 매우 중요하며, 구조시스템의 효율성은 구조재료의 사용량과 직접적인 관계가 있다. 효율적인 구조시스템에 대한 지속적인 연구결과, 새롭게 개발된 구조시스템 중 하나는 가새를 둔 코아나 철근콘크리트 전단벽에 아웃리저를 설치하는 방법이다. 아웃리저는 코아에 강접합, 외부기둥에는 핀접합되며, 아웃리저와 이 외부기둥들은 코아의 휨변형을 억제하는 역할을 한다.

지금까지 아웃리저구조에 대한 연구는 구조물의 중앙에 위치한 한 개의 코아가 아웃리저에 의해 양단에 위치한 외부기둥과 대칭으로 연결된<sup>(1,5),7)</sup> 경우나 구조물의 좌우 양단에서 코아까지의 거리가 서로 다르고 코아가 하나인 구조물,<sup>2)</sup> 그리고 병렬코아와 구조물 상단에 한 개의 아웃리저가 설치된 구조물<sup>4)</sup>을 대상으로 하였다.

본 연구에서는 여러 개의 아웃리저와 병렬코아를 갖는 비대칭 아웃리저구조물의 응력과 변위를 구하기 위한 매트릭스 해석방법을 제안하였으며, 등분포와 삼각분포, 그리고 집중하중이 작용하는 경우에 대한 응력과 변위식들을 유도하였다. 또한 본 이론해석의 신뢰성을 고찰하기 위하여 한 개와 두 개의 아웃리저가 설치된 해석모델들을 토대로 본 이론에서 구한 응력과 변위를 MIDAS 프로그램에 의한 결과와 비교하였다. 구조물의 수평변위를 최소화하기 위한 아웃리저의 위치를 추정하기 위하여 아웃리저의 위치를 이동시켜 가면서 위치변화가 구조물의 거동에 미치는 영향을 분석하였고, 각 하중별로 비교하여 아웃리저의 위치결정을 위한 실용적인 자료를 얻고자 하였다.

상이한 강성의 코아가 병렬로 위치하고, n개의 아웃리저가 설치된 구조물의 응력과 변위식들을 유도하기 위하여 본 연구에서는 비교적 단순하고 정확한 방법인 연속체해석과 매트릭스해법을 사용하였다.

## 2. 매트릭스 해석방법

그림 1에서 보는 바와 같이 구조물 전체 높이에 걸쳐 n 개의 아웃리저가  $x = x_i$  지점에 설치되고, 양단의 외부기둥에서 코아까지의 거리가 서로 다른 비대칭 아웃리저와 병렬코아를 가진 구조물에 등분포 수평하중 p와 최대값이 w 인 삼각분포 수평하중, 그리고 구조물 상단에 집중하중 Q가 작용하는 경우에 대한 응력과 변위의 근사식을 유도하기 위하여 구조물이 선형탄성적으로 거동한다고 가정한다. 또한, 아웃리저와 코아는 강접합되어 있고, 코아는 강력한

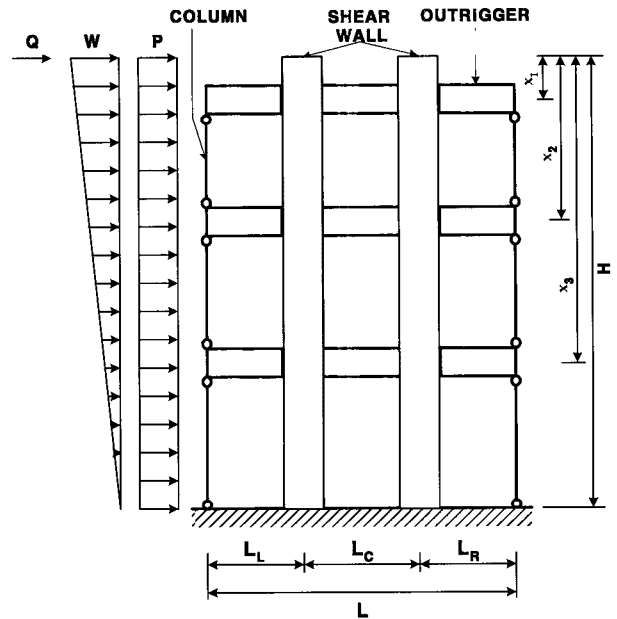


그림 1 여러 개의 아웃리저와 병렬코아를 갖는 구조물

기초 위에 강접합되어 있다고 가정하며, 아웃리저와 외부기둥의 접합 및 외부기둥 하부의 접합을 핀접합으로 가정하여 외부기둥은 오직 축방향력만을 부담하도록 한다. 그리고 모든 기둥과 보는 핀접합되어 있어서 외부기둥과 아웃리저로 연결된 코아가 모든 수평하중을 지지하는 것으로 가정한다. 가새의 변형에 의한 코아의 회전변형은 무시하며, 수직하중에 의한 구조거동의 변화는 근사이론의 전개를 위해 고려하지 않는다.

아웃리저가 설치된 코아는 외력과 아웃리저의 영향을 받는 구조체로 간주할 수 있다. 구조물에 설치된 아웃리저로 인해  $x = x_i$  지점의 코아에서 축방향력  $T_{Li}$ ,  $T_{Ri}$ 와 집중모멘트  $M_{Li}$ ,  $M_{Ri}$ 가 발생하게 되며, 좌우 외부기둥에서 축력  $F_{Li}$ 과  $F_{Ri}$ 가 발생한다.

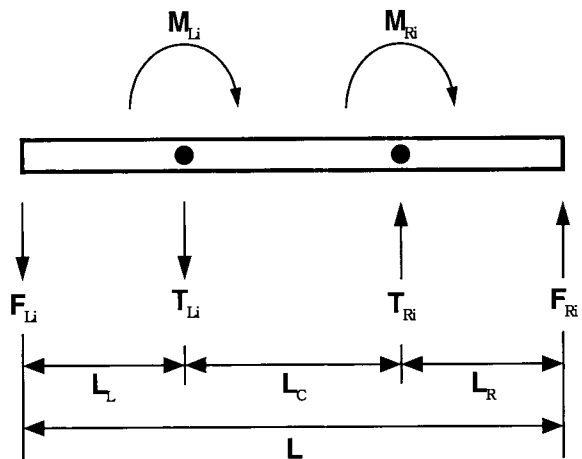


그림 2 i번째 아웃리저의 자유물체도

그림 2와 같이 아웃리거의 자유물체도<sup>4)</sup>에 대한 평형조건으로부터 아래와 같은 방정식을 구할 수 있다.

$x = x_i$  지점에서

$$T_{Ri} + F_{Ri} - T_{Li} - F_{Li} = 0 \quad (1)$$

$$M_{Ri} + M_{Li} - F_{Li}L - T_{Li}(L - L_L) + T_{Ri}L_R = 0 \quad (2)$$

여기서,  $L_L$ 과  $L_R$ 은 각각 외부기둥에서 병렬코아 도심까지의 거리,  $L_C$ 는 코아 중심간의 거리,  $L$ 은 구조물 양쪽에 위치한 외부기둥 도심 사이의 거리를 나타낸다.

그림 3은 구조물 상단에서  $i$ 번째의 아웃리거와 병렬코아의 변형<sup>4)</sup>을 나타내고 있다.

여기서,  $\delta_{R1}$ 과  $\delta_{L1}$ 은 우측과 좌측에 위치한 코아의 축변형,  $\delta_{R2}$ 과  $\delta_{L2}$ 는 우측과 좌측에 위치한 외부기둥의 축변형, 그리고  $\delta_{R3}$ 과  $\delta_{L3}$ 은 코아의 우측과 좌측에서 아웃리거의 캔틸레버 변형을 나타내며 다음과 같은 값을 가진다.

$$\begin{aligned} \delta_{R1} &= \frac{T_{Ri}(H - x_i)}{EA_{CR}}, & \delta_{L1} &= \frac{T_{Li}(H - x_i)}{EA_{CL}} \\ \delta_{R2} &= \frac{F_{Ri}(H - x_i)}{EA_R}, & \delta_{L2} &= \frac{F_{Li}(H - x_i)}{EA_L} \\ \delta_{R3} &= \frac{F_{Ri}L_R^3}{3EI_{Si}}, & \delta_{L3} &= \frac{F_{Li}L_L^3}{3EI_{Si}} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서  $E$ 는 탄성계수,  $H$ 는 구조물의 전체높이,  $A_{CL}$ ,  $A_{CR}$ 과  $A_L$ ,  $A_R$ 은 좌측과 우측에 위치한 코아와 외부기둥의 단면적,  $I_{Si}$ 는 구조물 상단에서  $i$ 번째에 위치한 아웃리거의 단면 2차모멘트를 나타낸다.

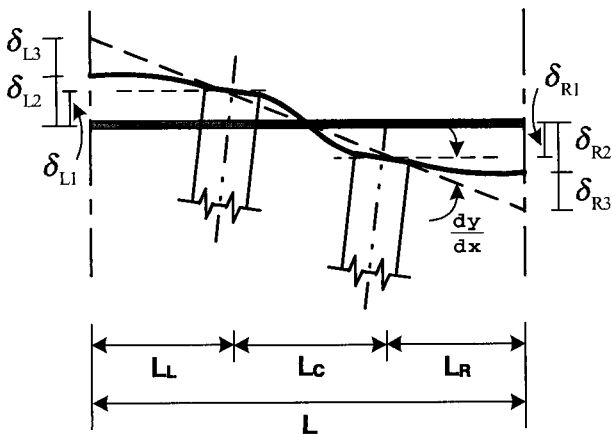


그림 3  $i$ 번째 아웃리거와 병렬코아의 변형

$x = x_i$  지점에서 아웃리거의 내부스팬에 대한 적합조건을 적용하면

$$\begin{aligned} L_C \left\{ \frac{dy}{dx} \right\}_i &= -\frac{(F_{Li} + T_{Li})L_C^3}{12EI_{Si}} + \sum_{k=1}^i \left\{ \frac{T_{Rk}(H - x_k)}{EA_{CR}} + \frac{T_{Lk}(H - x_k)}{EA_{CL}} \right\} \\ &+ \sum_{k=i+1}^n \left\{ \frac{T_{Rk}(H - x_k)}{EA_{CR}} + \frac{T_{Lk}(H - x_k)}{EA_{CL}} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 좌측 항은 코아의 회전각 발생으로 인한 변위를 나타내며, 우측 항은 내부스팬에서 아웃리거의 캔틸레버 변형과 코아의 축변형을 나타낸다.

아웃리거의 외부스팬에 대한 적합조건을 적용하면

$$\begin{aligned} L_R \left\{ \frac{dy}{dx} \right\}_i &= -\frac{F_{Ri}L_R^3}{3EI_{Si}} + \sum_{k=1}^i \left\{ \frac{F_{Rk}(H - x_k)}{EA_R} - \frac{T_{Rk}(H - x_k)}{EA_{CR}} \right\} \\ &+ \sum_{k=i+1}^n \left\{ \frac{F_{Rk}(H - x_k)}{EA_R} - \frac{T_{Rk}(H - x_k)}{EA_{CR}} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} L_L \left\{ \frac{dy}{dx} \right\}_i &= -\frac{F_{Li}L_L^3}{3EI_{Si}} + \sum_{k=1}^i \left\{ \frac{F_{Lk}(H - x_k)}{EA_L} - \frac{T_{Lk}(H - x_k)}{EA_{CL}} \right\} \\ &+ \sum_{k=i+1}^n \left\{ \frac{F_{Lk}(H - x_k)}{EA_L} - \frac{T_{Lk}(H - x_k)}{EA_{CL}} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

식(5)과 (6)에서 우측 항은 아웃리거의 외부스팬에서 캔틸레버 변형과 외부기둥 및 코아의 축변형을 나타낸다.

코아의 휨모멘트와 가상일의 원리를 이용하여  $x = x_i$  지점에서 코아의 회전각을 구하면

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{dy}{dx} \right\}_i &= -\frac{1}{E(I_R + I_L)} \left[ \int_x^H \left\{ \frac{wx^2(3H - x)}{6H} + \frac{px^2}{2} + Qx \right\} dx \right. \\ &\left. - \sum_{k=1}^i \int_x^H (M_{Rk} + M_{Lk}) dx - \sum_{k=i+1}^n \int_x^H (M_{Rk} + M_{Lk}) dx \right] \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서  $I_L$ ,  $I_R$ 은 좌측과 우측에 위치한 병렬코아의 단면 2차모멘트이고,  $w$ 는 구조물에 작용하는 삼각분포하중,  $p$ 는 등분포하중,  $Q$ 는 집중하중을 나타낸다.

식(1)~(2)에서 병렬코아의 좌우측에 위치한 외부기둥의 축력은

$$\begin{aligned} F_{Li} &= \frac{M_i - T_{Li}(L - L_L) + T_{Ri}L_R}{L} \\ F_{Ri} &= \frac{M_i - T_{Ri}(L - L_R) + T_{Li}L_L}{L} \end{aligned} \quad (8)$$

식(4), (5)에 각각  $L_R$ 과  $L_C$ 를 곱하고, 식(8)의 값을 대입하여 정리하면 다음과 같은 매트릭스 방정식을 얻을 수 있다.

$$[A]\{M\} + [B]\{T_R\} + [C]\{T_L\} = 0 \quad (9)$$

식(9)에서 [A], [B], [C]는  $n \times n$ 의 매트릭스로서 각 매트릭스의 요소는

$$A_{ii} = \frac{L_C^3 L_R}{12EI_{Si}L} + \frac{L_R^3 L_C}{3EI_{Si}L} + \frac{(H-x_i)L_C}{EA_{RL}}$$

$$A_{ij} = A_{ji} = -\frac{(H-x_j)L_C}{EA_{RL}}$$

$$B_{ii} = \frac{L_C^3 L_R^2}{12EI_{Si}L} - \frac{(H-x_i)L_R}{EA_{CR}} - \frac{(L-L_R)L_R^3 L_C}{3EI_{Si}L}$$

$$B_{ij} = B_{ji} = -\frac{(L-L_R)(H-x_i)L_C}{EA_{RL}} - \frac{(H-x_i)L_C}{EA_{CR}}$$

$$C_{ii} = -\frac{(L-L_L)L_C^3 L_R}{12EI_{Si}L} + \frac{L_C^3 L_R}{12EI_{Si}} - \frac{(H-x_i)L_R}{EA_{CL}}$$

$$C_{ij} = C_{ji} = -\frac{L_L L_R^3 L_C}{3EI_{Si}L} + \frac{L_L(H-x_i)L_C}{EA_{RL}}$$

$$C_{ij} = C_{ji} = -\frac{(H-x_j)L_R}{EA_{CL}} + \frac{L_L(H-x_j)L_C}{EA_{RL}}$$

여기서  $i \neq j$ 이며, 식(9)의 각 벡터는 다음과 같이 표현된다.

$$\{M\} = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{Bmatrix}, \quad \{T_R\} = \begin{Bmatrix} T_{R1} \\ T_{R2} \\ \vdots \\ T_{Ri} \\ \vdots \\ T_{Rn} \end{Bmatrix}, \quad \{T_L\} = \begin{Bmatrix} T_{L1} \\ T_{L2} \\ \vdots \\ T_{Li} \\ \vdots \\ T_{Ln} \end{Bmatrix}$$

식(4), (6)에 각각  $L_L$ 과  $L_C$ 를 곱하고, 식(8)의 값을 대입하여 정리하면 다음과 같은 매트릭스 방정식을 얻을 수 있다.

$$[D]\{M\} + [E]\{T_R\} + [H]\{T_L\} = 0 \quad (10)$$

식(10)에서 [D], [E], [H]는  $n \times n$ 의 매트릭스로서 각 매트릭스의 요소는

$$D_{ii} = \frac{L_C^3 L_L}{12EI_{Si}L} + \frac{L_L^3 L_C}{3EI_{Si}L} + \frac{(H-x_i)L_C}{EA_{LL}}$$

$$D_{ij} = D_{ji} = \frac{(H-x_j)L_C}{EA_{LL}}$$

$$E_{ii} = \frac{L_R L_C^3 L_L}{12EI_{Si}L} - \frac{(H-x_i)L_L}{EA_{CR}} + \frac{L_R L_L^3 L_C}{3EI_{Si}L}$$

$$+ \frac{L_R(H-x_i)L_C}{EA_{LL}}$$

$$E_{ij} = E_{ji} = -\frac{(H-x_j)L_L}{EA_{CR}} + \frac{L_R(H-x_j)L_C}{EA_{LL}}$$

$$H_{ii} = \frac{L_C^3 L_L}{12EI_{Si}} - \frac{(L-L_L)L_C^3 L_L}{12EI_{Si}L} - \frac{(H-x_i)(L_C+L_L)}{EA_{CL}}$$

$$- \frac{(L-L_L)L_L^3 L_C}{3EI_{Si}L} - \frac{(L-L_L)(H-x_i)L_C}{EA_{LL}}$$

$$H_{ij} = H_{ji} = -\frac{(H-x_j)L_L}{EA_{CL}} - \frac{(L-L_L)(H-x_j)L_C}{EA_{LL}}$$

$$- \frac{(H-x_j)L_C}{EA_{CL}}$$

식(7)에  $L_C$ 를 곱하고, 식(4)와 연결한 다음, 식(8)의 값을 대입하여 정리하면 다음과 같은 매트릭스 방정식을 얻을 수 있다.

$$[K]\{M\} + [J]\{T_R\} + [N]\{T_L\} = \{P\} \quad (11)$$

식(11)에서 [K], [J], [N]은  $n \times n$ 의 매트릭스로서 각 매트릭스의 요소는

$$K_{ii} = -\frac{L_C^3}{12EI_{Si}L} + \frac{L_C(H-x_i)}{E(I_R+I_L)}$$

$$K_{ij} = K_{ji} = \frac{L_C(H-x_j)}{E(I_R+I_L)}$$

$$J_{ii} = -\frac{L_R L_C^3}{12EI_{Si}L} + \frac{(H-x_i)}{EA_{CR}}$$

$$J_{ij} = J_{ji} = \frac{(H-x_j)}{EA_{CR}}$$

$$N_{ii} = -\frac{L_C^3}{12EI_{Si}} + \frac{(L-L_L)L_C^3}{12EI_{Si}L} + \frac{(H-x_i)}{EA_{CL}}$$

$$N_{ij} = N_{ji} = \frac{(H-x_j)}{EA_{CL}}$$

이며, 벡터  $\{P\}$ 는 다음과 같다.

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} \frac{L}{E(I_R + I_L)} \int_{x_1}^H \left\{ \frac{wx^2(3H-x)}{6H} + \frac{tx^2}{2} + Qx \right\} dx \\ \frac{L}{E(I_R + I_L)} \int_{x_1}^H \left\{ \frac{wx^2(3H-x)}{6H} + \frac{tx^2}{2} + Qx \right\} dx \\ \frac{L}{E(I_R + I_L)} \int_{x_2}^H \left\{ \frac{wx^2(3H-x)}{6H} + \frac{tx^2}{2} + Qx \right\} dx \end{Bmatrix}$$

식(9)과 (10)에서 {T<sub>R</sub>}, {T<sub>L</sub>}를 유도한 다음, 식(11)에 대입하여 각 아웃리저의 구속모멘트 {M}를 구하면,

$$\{M\} = [([K] - [N][C]^{-1}[A]) + ([J] - [N][C]^{-1}[B]) \cdot ([E] - [H][C]^{-1}[B])^{-1}([H][C]^{-1}[A] - [D])]^{-1}\{P\} \quad (12)$$

n개의 아웃리저를 갖는 구조물에서 구조물의 수평변위는 코아에 발생하는 휨모멘트와 가상일의 원리를 이용하여 구할 수 있으며, 구조물 최상단의 수평변위는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$\Delta = \frac{1}{E(I_R + I_L)} \left[ \frac{11wH^4}{120} + \frac{\rho H^4}{8} + \frac{QH^3}{3} - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{M_i(H^2 - x_i^2)}{2} \right\} \right] \quad (13)$$

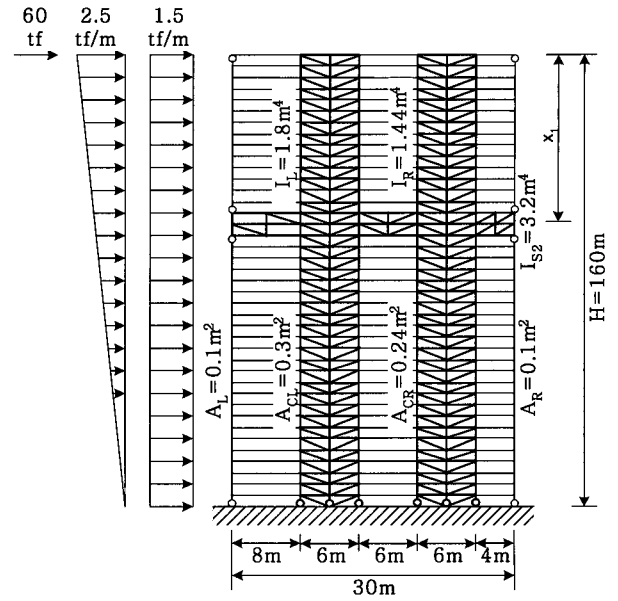
### 3. 해석모델 및 비교분석

본 연구에서 제시된 여러 개의 아웃리저와 병렬코아를 갖는 구조물에 대한 매트릭스 해석방법에 대한 신뢰성과 아웃리저와 병렬코아의 위치에 따른 구조물의 거동을 고찰하기 위해 한 개의 아웃리저와 두 개의 아웃리저가 설치된 160m 높이의 구조물을 해석모델로 선정하였으며, 구조물에 작용하는 등분포하중과 삼각분포하중 및 집중하중의 크기, 그리고 외부기둥의 단면적과 아웃리저의 단면 2차모멘트, 코아의 단면적과 단면 2차 모멘트 등은 그림 4에 표시된 바와 같다.

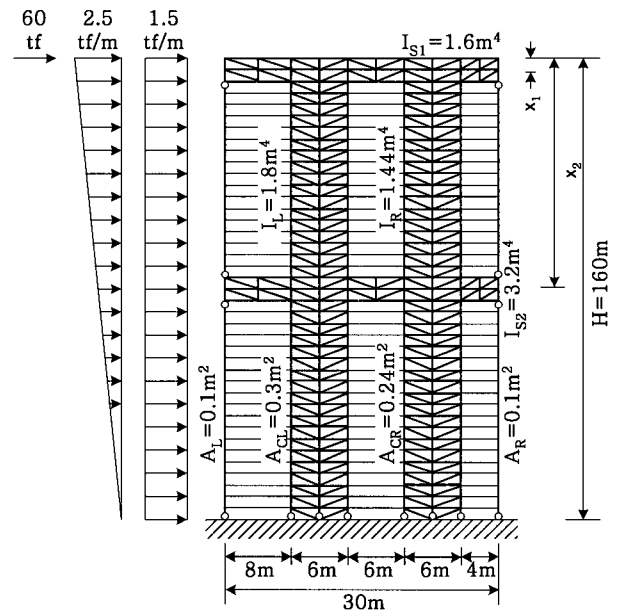
한 개의 아웃리저를 갖는 모델 A의 경우, 아웃리저의 위치를 구조물 상단에서 20m씩 이동시켜 가면서 구조해석을 실시하였고, 두 개의 아웃리저를 갖는 모델 B의 경우, 상부아웃리저는 구조물 상단에 고정시키고 하부아웃리저를 상단에서 하단으로 이동시켜 가면서 해석하였다.

해석모델들을 토대로 본 이론에 의한 응력과 변위를 MIDAS-GEN 프로그램을 이용한 해석결과와 비교하였으며, 그 결과를 그림 5~19에 표시하였다.

먼저, 그림 5~6은 x<sub>1</sub>=60m지점에 아웃리저가 설치



a) 모델 A



b) 모델 B

그림 4 해석모델

된 모델 A와 x<sub>2</sub>=80m지점에 하부아웃리저가 설치된 모델 B에 대한 구조물의 높이에 따른 수평변위의 변화를 표시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 이론해석과 MIDAS 프로그램에 의한 결과가 전체 높이에 걸쳐 비교적 유사하게 나타났다.

등분포와 삼각분포, 그리고 집중하중을 받는 아웃리저 구조물 상단의 수평변위의 경우, 본 이론해석과 MIDAS 해석의 결과는 모델 A에서 3.1%, 모델 B에서는 2.0%의 최대오차를 보였다. 또한, 층간변위의 경우, 아웃리저가 설치

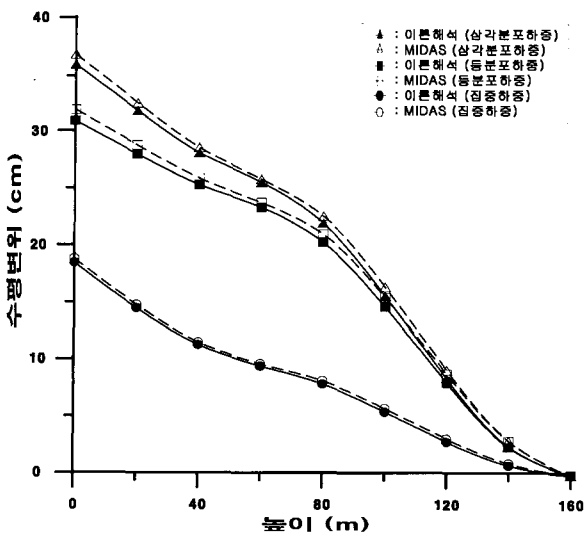


그림 5 높이에 따른 수평변위의 변화(모델 A,  $x_1=60m$ )

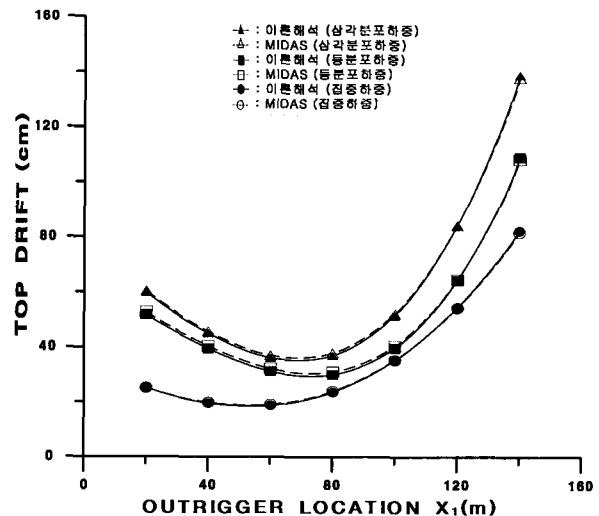


그림 7 아웃리거의 위치에 따른 최상층의 수평변위(모델 A)

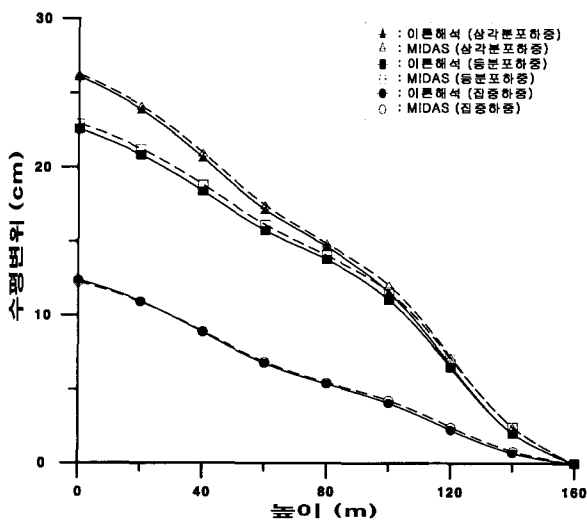


그림 6 높이에 따른 수평변위의 변화(모델 B,  $x_2=80m$ )

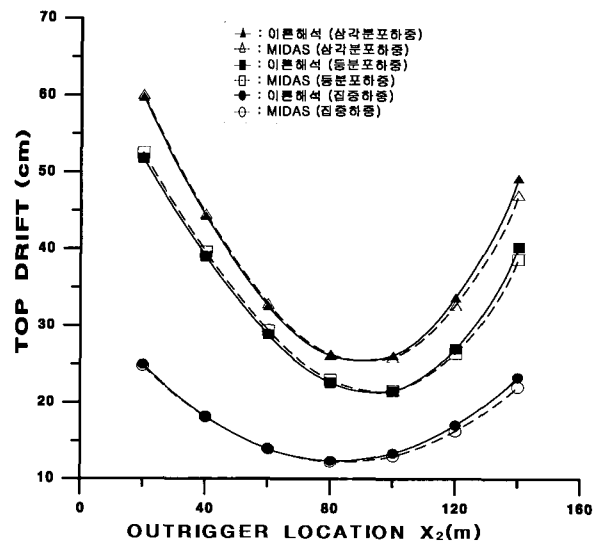


그림 8 아웃리거의 위치에 따른 최상층의 수평변위(모델 B)

된 부위에서 크게 감소하는 양상을 보였다.

그림에서 보는 바와 같이 아웃리거가 위치하는 지점에서 수평변위의 증가율이 크게 감소함에 따라 아웃리거구조물의 수평변위가 구조물의 전체 높이에 걸쳐 큰 비율로 감소하였다.

#### 4. 아웃리거와 병렬코아의 위치에 따른 거동

그림 7과 8은 아웃리거의 위치가 구조물 상단에서 하단으로 변함에 따른 구조물 최상층의 수평변위를 각각의 하중에 대해 표시한 것이다.

한 개의 아웃리거가 설치된 모델 A에 등분포하중과 삼각분포하중이 작용하는 경우, 아웃리거가 구조물 상단에서  $0.4H \sim 0.5H$  떨어진 지점에 위치할 때 구조물 상단의 수

평변위가 최소가 되었으며, 아웃리거가 구조물 상단과 하단으로 이동할 수록 수평변위가 증가하였다. 구조물 상단에 집중하중이 작용할 경우, 최소변위 발생위치는 등분포와 삼각분포의 경우보다 약간 높게 나타났으며, 구조물 상단에서  $H/3$  지점에 위치할 때 상단의 수평처침이 최소가 되었다.

두 개의 아웃리거를 갖는 모델 B의 경우에도 아웃리거의 위치에 따라 구조물 상단의 수평변위가 크게 좌우되는 양상을 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 하부아웃리거가 구조물 상단에서  $0.5H \sim 0.6H$  떨어진 지점에 위치할 때 구조물 상단의 수평처침이 최소가 되었으며, 집중비틀림하중이 작용하는 경우에는 아웃리거가 한 개일 때와 마찬가지로 등분포와 삼각분포의 경우보다 약간 높게 조사되었다.

그림 9와 10은 해석모델의 좌측에 위치한 코아 하단의

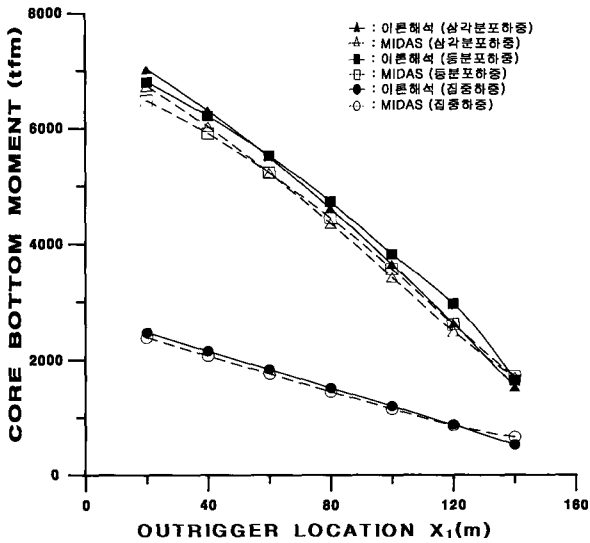


그림 9 좌측 코아하단의 휨모멘트(모델 A)

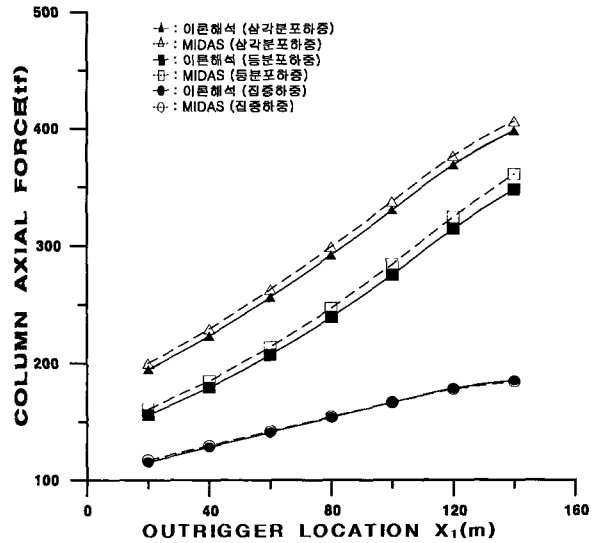


그림 11 우측 하부기둥의 축력(모델 A)

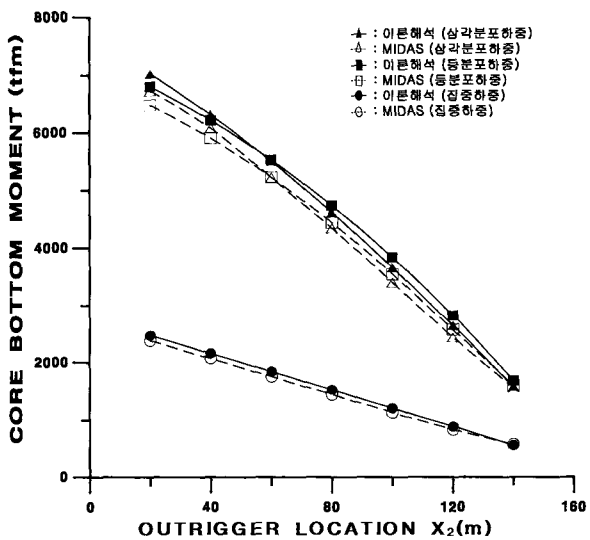


그림 10 좌측 코아하단의 휨모멘트(모델 B)

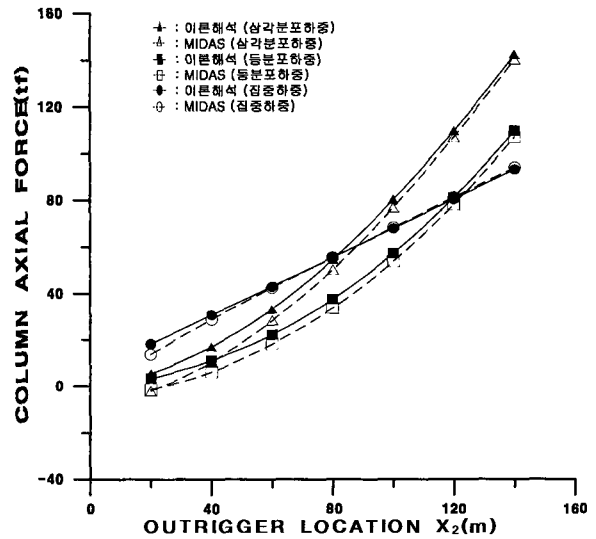


그림 12 우측 상부기둥의 축력(모델 B)

휨모멘트를 각 하중별로 표시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이론해석과 MIDAS 해석에 의한 결과는 등분포와 삼각분포하중의 경우 5.3%, 집중하중의 경우 4.2%이내의 근소한 차이를 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 아웃리저의 위치가 구조물의 하단으로 이동할 수록 하중의 형태에 관계없이 코아하단의 휨모멘트가 감소하였다.

그림 11~13은 구조물 우측에 위치한 외부기둥의 축력을 나타낸 것으로 이론해석과 MIDAS해석에 의한 결과는 등분포와 삼각분포하중에서 5.1%, 집중하중에서 3.1%이내의 차이를 보였으며, 아웃리저의 위치가 구조물의 하부로 이동할 수록 외부기둥의 축력이 증가하는 모습을 보였다.

그림 14~15는 아웃리저의 위치에 따른 아웃리저 구속모멘트의 변화를 나타낸 것으로 아웃리저가 구조물의 하부에 위치할 수록 구속모멘트의 크기가 증가함을 보여 주고

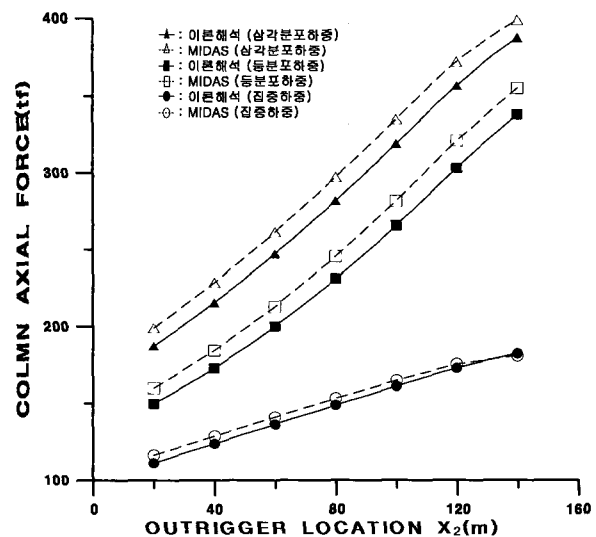


그림 13 우측 하부기둥의 축력(모델 B)

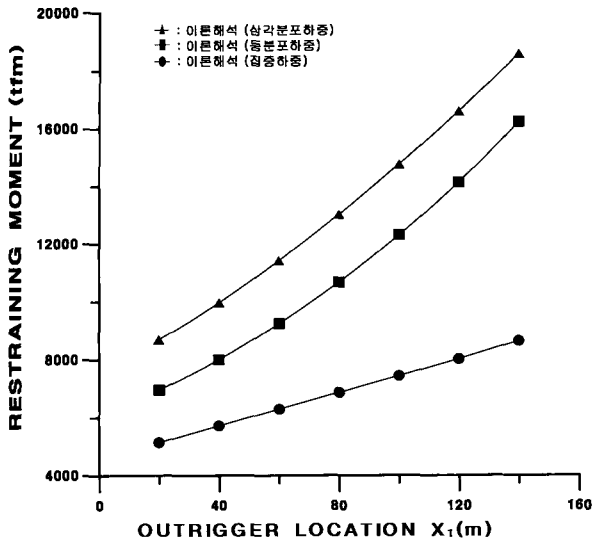


그림 14 아웃리거의 구속모멘트(모델 A)

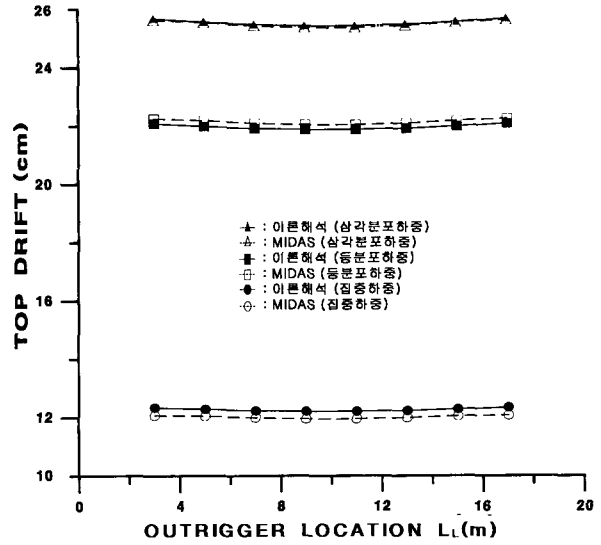


그림 17 병렬코아의 위치에 따른 최상층의 수평변위(모델 B,  $x_2=80m$ )

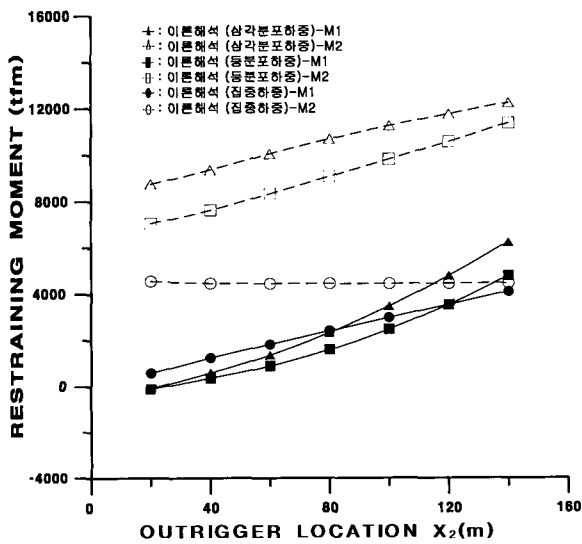


그림 15 상하아웃리거의 구속모멘트 (모델 B)

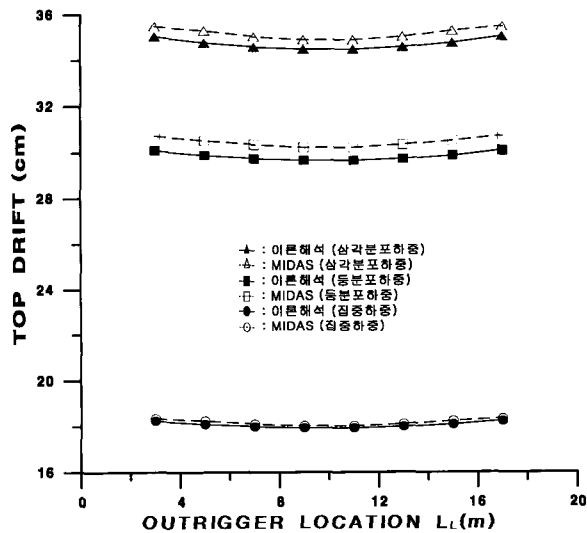


그림 16 병렬코아의 위치에 따른 최상층의 수평변위(모델 A,  $x_1=60m$ )

있다. 두 개의 아웃리거가 설치된 모델 B의 경우, 상부아웃리거보다 하부아웃리거의 구속모멘트가 아웃리거의 위치에 관계없이 더 큰 것으로 조사되었다.

그림 16~17은  $x_1=60m$ 지점에 아웃리거가 설치된 모델 A와  $x_2=80m$ 지점에 하부아웃리거가 설치된 모델 B를 대상으로 병렬코아를 구조물 좌측에서 우측으로 2m씩 이동시켜 가면서 구조해석을 실시한 다음, 구조물 상단의 수평변위를 각각의 하중에 대해 표시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 이론해석결과와 MIDAS 해석결과가 병렬코아의 위치나 하중의 형태에 관계없이 유사한 결과를 보였으며, 구조물의 변위는 코아의 위치보다는 아웃리거의 위치에 의해 크게 영향을 받는 것으로 조사되었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 여러 개의 아웃리거와 병렬코아를 갖는 구조물의 응력과 변위를 구하기 위한 매트릭스 해석방법을 제안하였으며, 등분포와 삼각분포, 그리고 구조물 상단에 집중하중이 작용하는 경우에 대한 응력과 변위식들을 유도하였다. 해석모델들을 토대로 본 이론해석과 MIDAS 해석결과를 비교하였고, 아웃리거와 병렬코아의 위치를 이동시켜 가면서 이것들의 위치변화가 아웃리거구조물의 응력과 변위에 미치는 영향을 분석하였으며, 이 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 병렬코아와 여러 개의 아웃리거를 갖는 구조물들을 토대로 본 이론에 의한 변위와 응력을 MIDAS 프로그램에 의한 값과 비교한 결과, 아웃리거와 코아의 위치, 아웃리거의 개수와 하중의 형태에 관계없이 유사한 결



과를 보였다.

- (2) 한 개의 아웃리거와 병렬코아를 갖는 구조물에 등분포와 삼각분포하중이 작용하는 경우는 아웃리거가 구조물 상단에서  $0.4H \sim 0.5H$  떨어진 지점에 위치할 때, 구조물 상단에 위치한 것을 포함하여 두 개의 아웃리거를 갖는 경우에는 하부아웃리거가 구조물 상단에서  $0.5H \sim 0.6H$  지점에 위치할 때 구조물의 수평변위가 최소가 되었다. 최소 수평변위 발생을 위한 아웃리거의 위치는 등분포, 삼각분포, 집중하중의 순서로 약간 높게 나타났다.
- (3) 병렬코아를 갖는 아웃리거구조물의 응력과 변위는 병렬코아의 위치보다는 아웃리거의 위치에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.
- (4) 아웃리거가 구조물의 하부에 위치할 수록 코아 하단의 휨모멘트는 감소하였고, 외부기둥의 축력과 아웃리거의 구속모멘트는 증가하였다.

#### 참 고 문 헌

1. 정동조 외 3인, "등변분포 수평하중을 받는 아웃리거트러스구조물의 근사해석", 대한건축학회논문집, 제12권, 제7호, 통권93호, 1996, pp.271~278
2. 정동조, "강성이 높이에 따라 선형으로 변하는 편심 아웃리거구조물의 응력과 변위", 대한건축학회논문집, 제17권, 제7호, 통권153호, 2001, pp.11~17
3. Taranath, B. S., *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1988
4. Moudarres, F. R., "Outrigger-Braced Coupled Shear Walls", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.110, No.12, 1984, pp.2876~2890
5. Stafford Smith, B., and Salim, I., "Parameters Study of Outrigger-Braced tall Building Structures", *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol.107, ST10, 1981, pp.2001~2014
6. Stafford Smith, B., and Coull, A., *Tall Building Structures*, John Wiley & Sons, New York, 1991
7. Coull, A., and Lau, W.H.O., "Analysis of Multioutrigger-Braced Structures", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.115, No.7, 1989, pp.1811~1815