

여러 개의 파사드리거를 갖는 고층구조물에서 리거의 최적위치

Optimum Rigger Locations for Highrise Braced Frames with Facade Riggers

정 동 조† 육 민 혜* 임 병 택** 김 석 구**
Jung, Dong-Jo Yuk, Min-Hye Lim, Beyng-Taeg Kim, Seok-Koo
(논문접수일 : 2006년 8월 1일 ; 심사종료일 : 2007년 4월 2일)

요 지

구조물의 거동에 대한 파사드리거의 보강 효과를 검토하고 파사드리거의 최적위치를 추정할 수 있는 수치해석방법이 제시되었다. 구조물 상부의 수평변위를 최소화할 수 있는 파사드리거의 최적위치는 파사드리거의 구속효과에 의한 수평변위 감소량을 극대화함으로써 구할 수 있으며 가새골조와 파사드리거의 휨강성과 전단강성에 의해 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 3가지 형태의 하중, 즉 등분포하중과 삼각분포하중 그리고 구조물 상단에 작용하는 집중하중이 고려되었다. 파사드리거의 최적위치는 무차원 강성변수 ω 와 β 의 함수로서 표현되었으며, 1개부터 4개의 파사드리거를 갖는 구조물을 대상으로 최적위치에 대한 도표를 작성하였다. 비록 본 연구에서 제시된 해석방법이 몇 가지의 가정을 기초로 유도되었으나 고층건물의 초기설계단계에서 파사드리거의 최적위치 결정을 위한 비교적 정확한 정보를 제공할 수 있다고 사료된다.

핵심용어 : 파사드리거, 고층건물, 강성변수, 최적위치

Abstract

Numerical analyses are performed to show the effect of stiffening facade riggers on the behavior of the structure and to investigate the optimum locations of facade riggers. Optimum locations of the facade riggers to minimize the drift at the top of the structure are obtained by maximizing the drift reduction caused by the facade riggers and are significantly influenced by the bending and shear stiffnesses of the braced frame and facade riggers. Three standard load cases of uniformly and triangularly distributed lateral loads as well as a lateral point load at the top of the structure are considered in this paper. Optimum locations of facade riggers are plotted as functions of nondimensional relative stiffness parameters ω and β for structures with one to four riggers. Although the analysis presented herein is based on certain simplifying assumptions, it is believed that the results do provide sufficiently accurate information for determining the optimum locations of facade riggers in highrise structures.

Keywords : Facade Rigger, Highrise Building, Stiffness Parameter, Optimum Location

1. 서 론

최근 들어 인구와 각종 시설들이 도시에 집중되고 있으며, 이에 따라 건축 구조물의 고층화 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 건물이 고층화됨에 따라 수평하중의 중요성은 기하급수적으로 증가한다. 고층건물의 경우 구조재의 강도보다는 강성이 구조설계에 더 중요한 요소로 작용하며, 그 건물의 강성은 구조형식에 의하여 결정된다.

그림 1에 표현된 파사드리거 구조물은 아웃리거 구조시스템에 근거하는 것으로 구조물의 외곽에 설치되는 파사드리거는 구조물의 내부에 수직으로 설치된 가새골조로부터 분리되어 구조물의 외곽으로 평행이동되어 설치된다. 따라서 파사드리거가 위치하는 층의 경우 전면 시야를 확보할 수 없는 단점이 있어 이곳에 기계층을 배치하는 경우가 많으나 이 시스템은 중앙의 코아에 부착되는 아웃리거와는 달리 사재로 인한 내부 동선의 장애가 발생하지 않는 장점이 있다.

† 책임저자, 정회원 · 전주대학교 건축공학과 교수 공학박사
Tel: 063-220-2621 ; Fax: 063-220-2621
E-mail: jung2621@jj.ac.kr

* 전주대학교 대학원 건축공학과 석사수료

** 전주대학교 대학원 건축공학과 박사과정

*** (주)쓰리디구조 대표이사 공학박사

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 6월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2007년 8월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

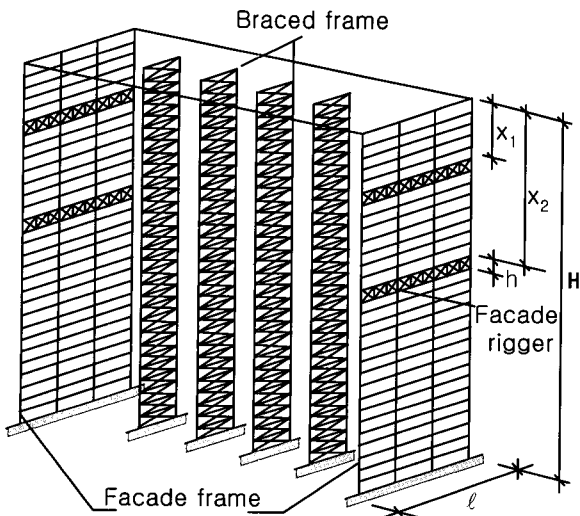


그림 1 파사드리거가 설치된 구조물

파사드리거와 전단벽의 거동에 대해서는 Smith 등(1996)에 의해 처음 연구되었다. 이 연구에서는 리거의 현재에 인접한 슬래브가 파사드리거와 전단벽 사이의 전단력을 전달하며 전단벽과 파사드리거를 지지하는 기둥 사이의 상호작용을 일으킨다고 주장하였다. 그러나 철골가새골조의 경우 콘크리트 전단벽과는 달리 휨변형 이외에도 대각가새의 축변형에 의한 전단변형이 발생하므로 전단변형에 의한 수평변위를 고려해야 한다. 이와 같은 구조물에 대한 단순화된 해석방법이 Hoenderkamp 등(2000)에 의해 제시되었으며, 등분포하중이 작용하고 1개의 파사드리거가 설치된 구조물에 대한 최적위치 결정방법을 제안하였다.

본 연구에서는 여러 개의 층에 걸쳐 파사드리거가 설치되고 내부에 철골가새골조가 있는 구조물의 근사해석방법을 제시하였으며, 구조물을 구성하는 각 구조요소들의 강성변화에 따른 파사드리거의 최적위치를 그래프로 나타내어 예비설계 단계에서 실제구조물의 거동과 파사드리거의 최적위치를 보다 신속하게 추정할 수 있도록 하였다. 또한 가새골조와 파사드리거의 전단강성변화가 파사드리거의 최적위치결정에 미치는 영향을 분석하였고 등분포하중과 삼각분포하중 그리고 구조물 상단의 집중하중과 같은 서로 다른 형태의 하중에 의한 최적위치의 변화를 고찰하였다.

2. 파사드리거 구조물의 응력과 변위

그림 2의 구조물은 등분포수평하중 w 와 최대값이 q 인 삼각분포수평하중, 그리고 집중하중 P 가 작용하며, 구조물 전체높이에 걸쳐 여러 개의 파사드리거가 구조물 상단에서부터 $x = x_i$ 지점에 설치된 구조물로 바닥슬래브가 무한한 축강성을 가져 가새골조와 파사드골조의 변형형상을 동일하게

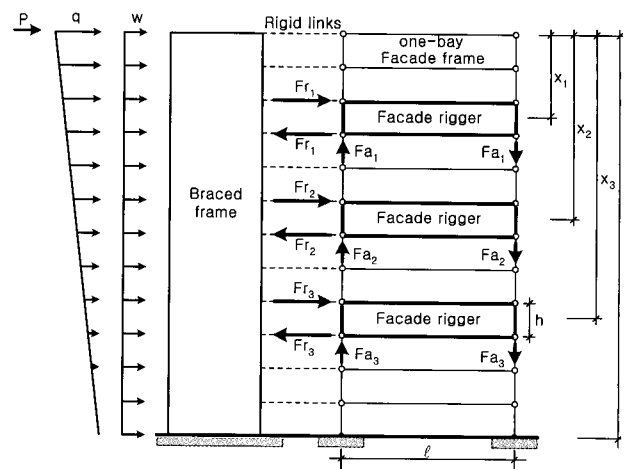


그림 2 파사드리거와 가새골조의 상호작용

해준다고 가정한 해석모델이다.

복잡한 파사드리거 구조물의 근사해석이론을 전개하기 위하여 구조체는 모든 기둥과 보가 편접합된 선형탄성체이고 각부재의 단면성질은 전체높이에 걸쳐 일정하며, 파사드리거는 오직 골조의 기둥에서 부착되고 기둥과 기둥사이에서 2개 이상의 구간으로 구획되었다고 가정하였다.

이 구조물의 응력과 변위에 대한 근사식을 유도하기 위하여 파사드리거가 가새골조와 만나는 위치에서 가새골조의 회전변위가 파사드리거의 회전변위와 일치한다는 적합조건을 이용한다. 가새골조의 휨강성을 EI_t , 전단강성을 GA_t , 구조물의 전체높이를 H , 파사드리거의 층을 h , 구조물 상단에서 i 번째 리거까지의 거리와 구속모멘트를 각각 x_i 와 M_i 로 표시하고, $x = x_i$ 에서 가새골조의 회전각을 θ_{ii} 라 하면, 그림 2의 가새골조의 구조거동은 가상일의 원리를 이용하여 다음과 같은 근사식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_{ii} = & \frac{w(H^3 - x_i^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2 - x_i^2)}{2EI_t} \\ & + \left(\frac{q(H^3 - x_i^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4 - x_i^4)}{24HEI_t} \right) \\ & + \frac{wx_i}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{1}{GA_t} \left(qx_i - \frac{qx_i^2}{2H} \right) \\ & - \frac{1}{EI_t} \left\{ \sum_{k=1}^i M_k(H - x_i) + \sum_{k=i+1}^n M_k(H - x_k) \right\} \\ & - \frac{M_i}{hGA_t} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 처음 3개의 항은 가새골조의 수평하중에 의한 휨회전각, 다음 3개의 항은 전단회전각을 나타내며, 마지막

두 항은 파사드리거에 의해 발생하는 구속모멘트에 의한 휨 회전각과 전단회전각을 나타낸다. 위식에서 X형 가새골조의 휨강성과 전단강성(Hoenderkamp 등, 2000)은,

$$EI_t = \sum EA_i C_i^2 \quad (2)$$

$$GA_t = (2a^2 h/d^3)EA_d \quad (3)$$

이다. 여기서 E는 탄성계수, A_i는 가새골조 기둥의 단면적 이고, C_i는 기둥의 중립축과 가새골조의 중립축 사이의 거리이다. 전단강성에서 a는 가새골조 수평부재의 길이이고 A_d와 d는 각각 가새의 단면적과 길이이다.

구속모멘트에 의한 파사드리거의 회전각은 파사드리거가 연결된 기둥의 축변형률에 의한 강제회전과, 파사드리거의 휨에 의한 회전각, 그리고 리거 경사재의 축변형에 의한 전단회전각으로 구성되며 x = x_i에서 파사드리거의 회전각을 θ_{ri}라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta_{ri} = \sum_{k=1}^i \frac{M_k(H-x_i)}{EI_f} + \sum_{k=i+1}^n \frac{M_k(H-x_k)}{EI_f} + \frac{M_i \ell}{12EI_r} + \frac{M_i}{hGA_r} \quad (4)$$

위식에서 ℓ은 파사드리거의 전체 길이를, EI_f와 EI_r은 각각 파사드골조와 리거의 휨강성을, GA_r은 리거의 전단강성을 나타내며 리거의 휨강성(Hoenderkamp 등, 2003)은,

$$EI_r = \ell \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{EA_b h^2}{2b_i} \right) \times \left(1 + \frac{1}{j^2 - 1} \right) \right\} \quad (5)$$

로 구해진다. 여기서 n은 베이의 수, j는 각 베이당 가새 구간의 수를 나타내며, b_i는 각 베이의 길이, A_b는 리거 현재의 단면적을 나타내며 파사드골조의 휨강성 EI_f는 가새 골조의 휨강성 EI_t와 같은 방법으로 구할 수 있다.

X형 가새가 설치된 파사드리거의 전단강성(Hoenderkamp 등, 2000)은 가새골조의 전단강성과 같은 방법으로 구하며 각 가새의 전단강성의 합으로 표현된다.

$$GA_r = \sum_{i=1}^s GA_i \quad (6)$$

위식에서 s는 파사드리거의 전체 가새 구간의 개수이다.

x = x_i에서 θ_{ri} = θ_{ri}이므로, 식 (1)과 식 (4)를 대입하면 다음과 같은 매트릭스형태의 방정식을 구할 수 있다.

$$\{M\} = [R]^{-1}\{A\} \quad (7)$$

여기서, 각 매트릭스 성분은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\{M\} = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{Bmatrix}, \quad \{A\} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{Bmatrix}$$

$$A_i = \frac{w(H^3 - x_i^3)}{6EI_t} + \frac{P(H^2 - x_i^2)}{2EI_t} + \frac{q(H^3 - x_i^3)}{6EI_t} - \frac{q(H^4 - x_i^4)}{24HEI_t} + \frac{wx_i}{GA_t} + \frac{P}{GA_t} + \frac{q}{GA_t} \left(x_i - \frac{x_i^2}{2H} \right)$$

$$[R] =$$

$$\begin{bmatrix} \frac{(H-x_1)S_v + S_h}{H} & \frac{(H-x_2)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_i)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} \\ \frac{(H-x_2)S_v}{H} & \frac{(H-x_2)S_v}{H} + S_h & \dots & \frac{(H-x_i)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(H-x_i)S_v}{H} & \frac{(H-x_i)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_i)S_v}{H} + S_h & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(H-x_n)S_v}{H} & \frac{(H-x_n)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} & \dots & \frac{(H-x_n)S_v}{H} + S_h \end{bmatrix}$$

위식에서 {M}은 n개의 파사드리거의 구속모멘트를 매트릭스 형태로 나타낸 것이며, n×n 매트릭스인 [R]에 포함된 S_v와 S_h(Hoenderkamp 등, 2000)는 수식을 간단히 하기 위해 도입한 계수로서 다음과 같은 값을 가진다.

$$S_v = \frac{H}{EI_t} + \frac{H}{EI_f} \quad (8)$$

$$S_h = \frac{\ell}{12EI_r} + \frac{1}{hGA_t} + \frac{1}{hGA_r} \quad (9)$$

식 (7)에서 구한 구속모멘트를 이용하여 그림 2의 x = x_i의 위치에서 가새골조의 구속력 F_{ri}와 외곽기둥의 축방향력 F_{ai}는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$M_i = F_{ri} \times h = F_{ai} \times \ell - \sum_{k=1}^{i-1} M_k \quad (10)$$

n개의 파사드리거를 갖는 구조물 최상단의 수평변위는 코아의 휨모멘트와 가상일의 원리를 이용하여 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta = \frac{wH^4}{8EI_t} + \frac{wH^2}{2GA_t} + \frac{PH^3}{3EI_t} + \frac{PH}{GA_t} + \frac{11qH^4}{120EI_t} + \frac{qH^2}{3GA_t} - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{M_i}{2EI_t} (H^2 - x_i^2) \right\} - \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{GA_t} \quad (11)$$

위식에서 처음 6개항은 자유 캔틸레버처럼 거동하는 가새골조의 외부하중에 의한 수평변위를 나타내며, 다음 2개 항은 n 개의 파사드리거의 구속모멘트에 의한 수평변위 감소량을 나타낸다.

3. 파사드리거의 최적위치

구조물 각 부재의 단면성질이 전체 높이에 걸쳐 일정한 파사드리거 구조물에 등분포수평하중, 삼각분포수평하중 그리고 구조물 최상단에 집중하중이 작용할 경우 각각 파사드리거의 구속모멘트와 구조물 상단의 최대수평변위는 앞에서 제시한 식들로부터 산정할 수 있으며, 구조물 상단의 수평변위를 최소화할 수 있는 각 하중별 파사드리거의 최적위치의 유도과정은 다음과 같다.

3.1 등분포 수평하중

n 개의 파사드리거가 부착된 대칭구조물에 등분포형태의 수평하중이 작용할 경우 가새골조에 대한 n 개의 파사드리거의 구속모멘트는 식 (7)에 무차원 변수를 도입하여 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\{M\}_w = \frac{wH^3}{6EI_t} \frac{1}{S_v} [R]^{-1} \{A\}_w \quad (12)$$

여기서,

$$\{M\}_w = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{Bmatrix}, \quad \{A\}_w = \begin{Bmatrix} 1 - \overline{x_1^3} + 6 \overline{x_1}/(\beta H)^2 \\ 1 - \overline{x_2^3} + 6 \overline{x_2}/(\beta H)^2 \\ \vdots \\ 1 - \overline{x_i^3} + 6 \overline{x_i}/(\beta H)^2 \\ \vdots \\ 1 - \overline{x_n^3} + 6 \overline{x_n}/(\beta H)^2 \end{Bmatrix}$$

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 - \overline{x_1} + \omega & 1 - \overline{x_2} & \cdots & 1 - \overline{x_i} & \cdots & 1 - \overline{x_n} \\ 1 - \overline{x_2} & 1 - \overline{x_2} + \omega & \cdots & 1 - \overline{x_i} & \cdots & 1 - \overline{x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 - \overline{x_i} & 1 - \overline{x_i} & \cdots & 1 - \overline{x_i} + \omega & \cdots & 1 - \overline{x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 - \overline{x_n} & 1 - \overline{x_n} & \cdots & 1 - \overline{x_n} & \cdots & 1 - \overline{x_n} + \omega \end{bmatrix}$$

이며, 위식에서 β^2 와 ω , 그리고 $\overline{x_i}$ 는 다음과 같은 값을 나타낸다.

$$\beta^2 = \frac{GA_t}{EI_t}, \quad \omega = \frac{S_h}{S_v}, \quad \overline{x_i} = \frac{x_i}{H}$$

위식은 여러개의 파사드리거가 설치된 구조물의 최적위치를 보다 쉽게 구하기 위해 무차원 변수로 간단히 정리한 것이다.

구조물 상단의 수평변위를 최소화할 수 있는 파사드리거의 위치는 식 (11)의 마지막 두항이 최대값을 갖는 경우이므로 식 (12)에서 구한 $\{M\}_w$ 를 대입하고 x_i 로 미분하면

$$\frac{d\Delta}{dx_i} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{dM_i}{dx_i} \left(\frac{H^2 - x_i^2}{2EI_t} + \frac{1}{GA_t} \right) - M_i \left(\frac{x_i}{EI_t} \right) \right] = 0 \quad (13)$$

위식에서 i 는 1부터 n 까지의 값을 가지며, dM_i/dx_i 는 식 (12)에서 유도된 각 파사드리거의 구속모멘트를 x_i 로 미분한 값을 나타낸다.

최적위치를 정의하는 식 (13)에 무차원 변수인 $\overline{x_i}$ 와 β 를 도입하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d\Delta}{d\overline{x_i}} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{dM_i}{d\overline{x_i}} \left(1 - \overline{x_i^2} + \frac{2}{(\beta H)^2} \right) - M_i (2\overline{x_i}) \right] = 0 \quad (14)$$

위와 같은 n 개의 방정식을 연립하여 풀면 각 파사드리거의 최적위치를 정의하는 x_i 의 값을 구할 수 있으며 최적위치를 산정하기 위한 흐름도는 그림 3과 같다.

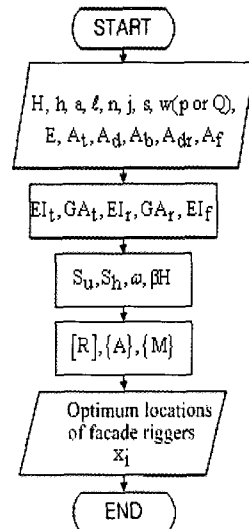


그림 3 최적위치에 대한 흐름도

3.2 삼각분포 수평하중

n 개의 파사드리거를 가지는 구조물에 역삼각형 형태의 수평하중이 작용할 경우 가새골조에 대한 각 파사드리거의 구속모멘트와 파사드리거의 최적위치는 등분포 수평하중의 경우와 유사한 과정을 통해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\{M\}_q = \frac{qH^3}{6EI_t} \frac{1}{S_v} [R]^{-1} \{A\}_q \quad (15)$$

여기서,

$$\{M\}_q = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{Bmatrix},$$

$$\{A\}_q = \begin{Bmatrix} 1 - \frac{x_1^3}{4} - \frac{(1-x_1^4)}{4} + 6x_1(1-x_1/2)/(\beta H)^2 \\ 1 - \frac{x_2^3}{4} - \frac{(1-x_2^4)}{4} + 6x_2(1-x_2/2)/(\beta H)^2 \\ \vdots \\ 1 - \frac{x_i^3}{4} - \frac{(1-x_i^4)}{4} + 6x_i(1-x_i/2)/(\beta H)^2 \\ \vdots \\ 1 - \frac{x_n^3}{4} - \frac{(1-x_n^4)}{4} + 6x_n(1-x_n/2)/(\beta H)^2 \end{Bmatrix}$$

이며, $[R]$ 매트릭스는 식 (12)의 등분포하중의 경우와 같다. 위식에서 유도된 구속모멘트를 식 (14)에 대입하고 n 개의 연립방정식을 풀면 삼각분포 수평하중이 작용하는 경우에 대한 각 파사드리거의 최적위치를 구할 수 있다.

3.3 집중하중

구조물 전체 높이에 걸쳐 n 개의 파사드리거가 설치되고 구조물 최상단에 집중하중이 작용하는 경우 각 파사드리거의 구속모멘트는 무차원 변수를 사용하여 앞에서 유도된 식들처럼 간단하게 표현할 수 있다.

$$\{M\}_p = \frac{PH^2}{2EI_t} \frac{1}{S_v} [R]^{-1} \{A\}_p \quad (16)$$

여기서

$$\{M\}_p = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{Bmatrix}, \quad \{A\}_p = \begin{Bmatrix} 1 - \frac{x_1^2}{2} + 2/(\beta H)^2 \\ 1 - \frac{x_2^2}{2} + 2/(\beta H)^2 \\ \vdots \\ 1 - \frac{x_i^2}{2} + 2/(\beta H)^2 \\ \vdots \\ 1 - \frac{x_n^2}{2} + 2/(\beta H)^2 \end{Bmatrix}$$

이며 $[R]$ 매트릭스는 등분포하중의 경우와 같다.

3.4 해석모델을 이용한 비교분석

그림 4는 1개 및 2개의 파사드리거가 설치된 30층, 120m 높이의 구조물로 4개의 가새골조와 파사드리거가 설치된 2개의 외곽 골조로 이루어져 있는 해석모델의 평면이다. 해석모델에서 파사드리거의 층은 4m이고, 한 베이당 3개의 구간으로 구획되어 있으며, 가새골조와 파사드리거는 X형의 가새로 되어있다. 이 구조물에 작용하는 하중은 등분포하중과 삼각분포하중, 그리고 구조물 상단에 작용하는 집중하중으로 각각 $150\text{kg/m}^2(1,470\text{Pa})$, $250\text{kg/m}^2(2,450\text{Pa})$, $225\text{tf}(2,205\text{kN})$ 이다. 또한 모든 강재의 탄성계수 E 는 $2.1 \times 10^7 \text{tf/m}^2(205.8\text{GPa})$, 가새골조 기둥의 단면적은 0.15m^2 , 파사드리거가 위치한 외곽골조의 보와 기둥의 단면적은 각각 0.04m^2 , 0.06m^2 이며, 가새골조와 파사드리거에 설치된 X형 가새의 단면적은 각각 0.03m^2 , 0.013m^2 로 가정하였다.

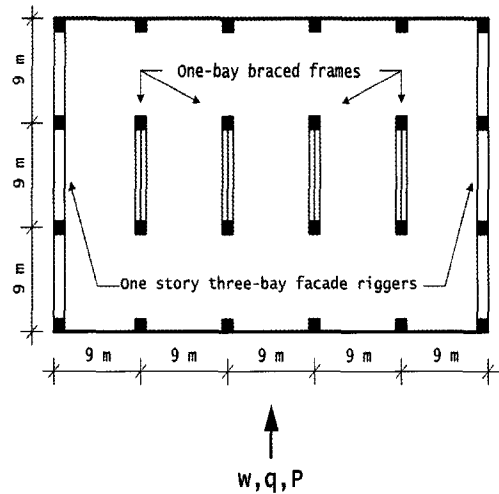


그림 4 해석모델 평면

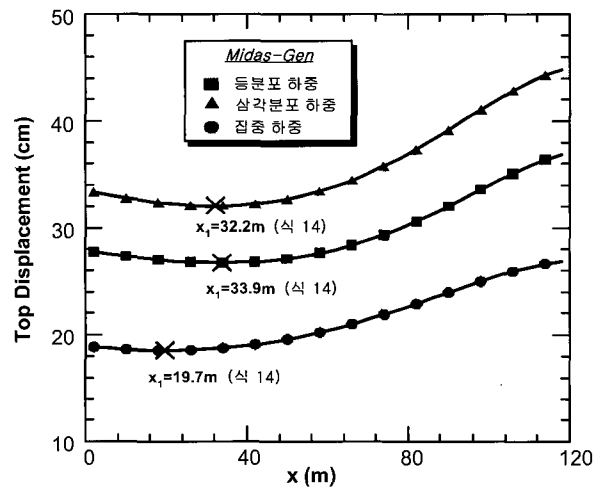


그림 5 리거의 위치에 따른 구조물상단의 수평변위 (1개의 리거)

그림 5는 1개의 파사드리거를 갖는 해석모델에서 등분포하중과 삼각분포하중, 그리고 집중하중이 작용하는 경우 리거의 위치를 구조물 상단에서 하단으로 이동시켜가면서 리거의 위치변화에 따른 구조물상단의 수평변위를 그래프로 표시한 것이고, 그림 6~8은 2개의 리거가 설치된 해석모델에서 각각의 하중에 대해 상부 리거와 하부 리거의 위치변화에 따른 구조물 상단의 수평변위를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 선으로 표시된 것은 3차원 구조해석프로그램인 Midas-Gen을 이용한 것으로 수많은 반복 작업을 실시하여 구조물 상단의 수평변위가 최소화되는 리거의 위치를 추적하였으며, 이 값은 본 연구에서 제시한 식을 이용하여 한 번의 수치해석으로 구한 결과와 비교적 잘 일치하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 파사드리거가 설치된 구조물의 초기설계단계에서 본 연구에서 제시한 해석방법을 사용할 경우 신속하고 정확한 최적위치 추정이 가능하다.

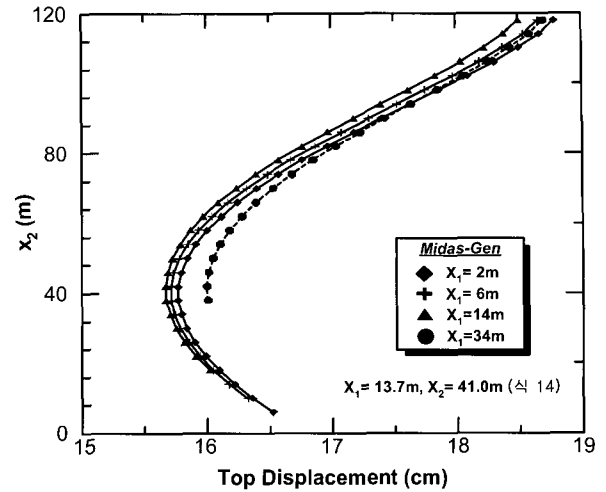


그림 8 리거의 위치에 따른 구조물상단의 수평변위 (2개의 리거, 집중하중)

4. 강성변화에 따른 파사드리거의 최적위치

파사드리거가 설치된 이상화된 가새골조의 거동은 3개의 휨강성과 2개의 전단강성으로 구성된 간단한 함수식으로 표현할 수 있으며 리거의 최적위치는 가새골조의 휨강성과 전단강성을 포함하는 변수 βH 와 가새골조와 외곽골조 및 리거의 강성을 포함하는 변수 ω 의 식으로 표현할 수 있다. 그림 9~20는 식 (14)를 토대로 등분포수평하중과 삼각분포수평하중 그리고 구조물 상단에 집중하중이 작용하는 경우 리거가 1개부터 4개까지 설치된 구조물에서 각 리거의 최적위치를 변수 βH 와 ω 를 사용하여 그래프로 나타낸 것으로서 구조물의 강성변화에 따른 각 리거의 최적위치를 추적한 것이다. 각 그래프에서 보는 바와 같이 파사드리거 구조물에서 리거의 최적위치는 하중의 형태 및 구조물의 강성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

파사드리거를 가지는 구조물에서 리거의 최적위치는 리거의 개수에 관계없이 집중하중의 경우가 가장 높게 조사되었으며 삼각분포하중과 등분포하중 순으로 구조물의 하부 쪽으로 이동하였다.

만약 구조물의 코아에 철근콘크리트 전단벽이 사용될 경우 가새골조의 전단강성 GA_t 가 매우 큰 값을 가지게 되며, GA_t 를 포함하는 βH 도 매우 큰 값을 가지게 된다. 각 파사드리거의 최적위치를 표현하는 변수 βH 는 그림에서 보는 바와 같이 가새골조의 전단강성이 증가함에 따라 그래프의 상부쪽으로 이동하게 되며, 따라서 철근콘크리트 전단벽의 경우 각 그래프의 제일 상부에 위치하는 곡선을 적용할 수 있다. 이 경우 ω 의 값은 작아지게 되며, 이 값들을 사용하여 βH 와 ω 로 표현되는 리거의 최적위치를 구할 수 있다.

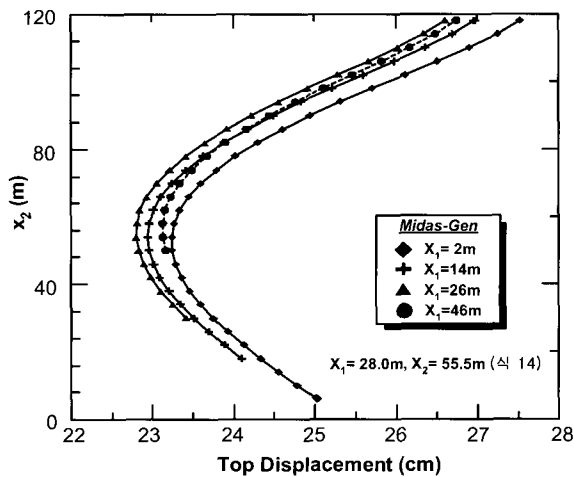


그림 6 리거의 위치에 따른 구조물상단의 수평변위 (2개의 리거, 등분포하중)

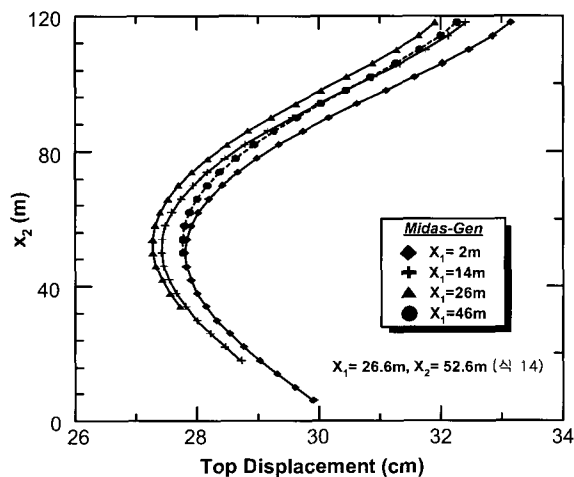


그림 7 리거의 위치에 따른 구조물상단의 수평변위 (2개의 리거, 삼각분포하중)

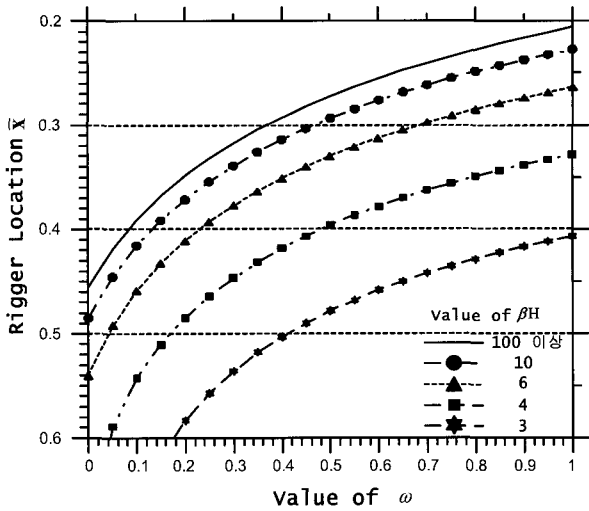


그림 9 1개의 리거를 가지는 구조물(등분포하중)

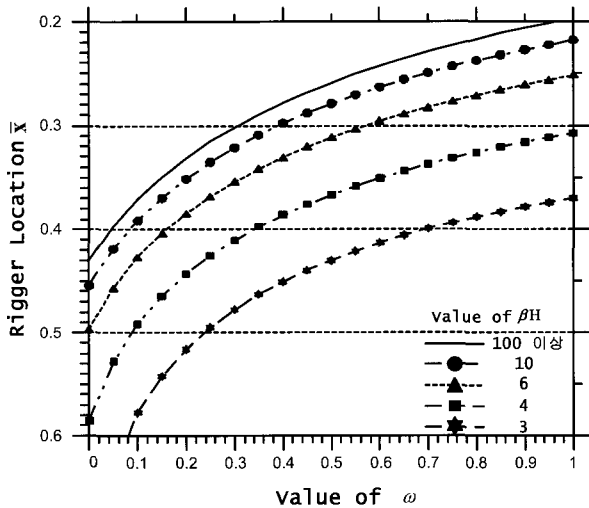


그림 10 1개의 리거를 가지는 구조물(삼각분포하중)

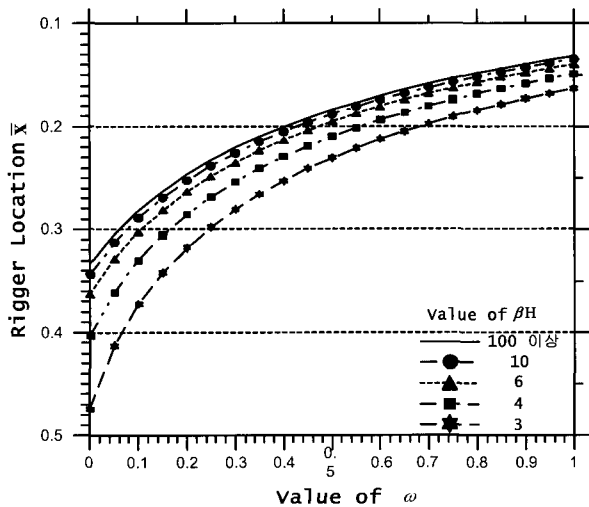


그림 11 1개의 리거를 가지는 구조물(집중하중)

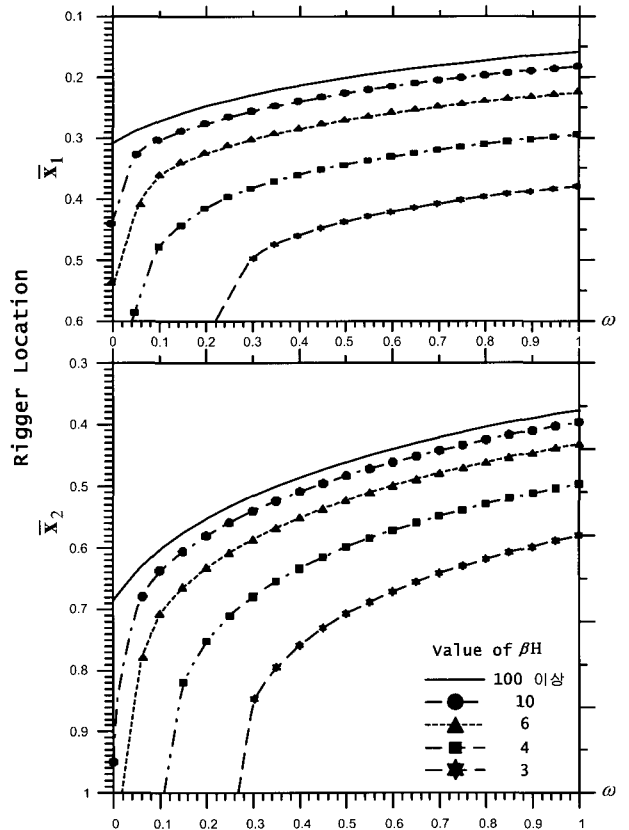


그림 12 2개의 리거를 가지는 구조물(등분포하중)

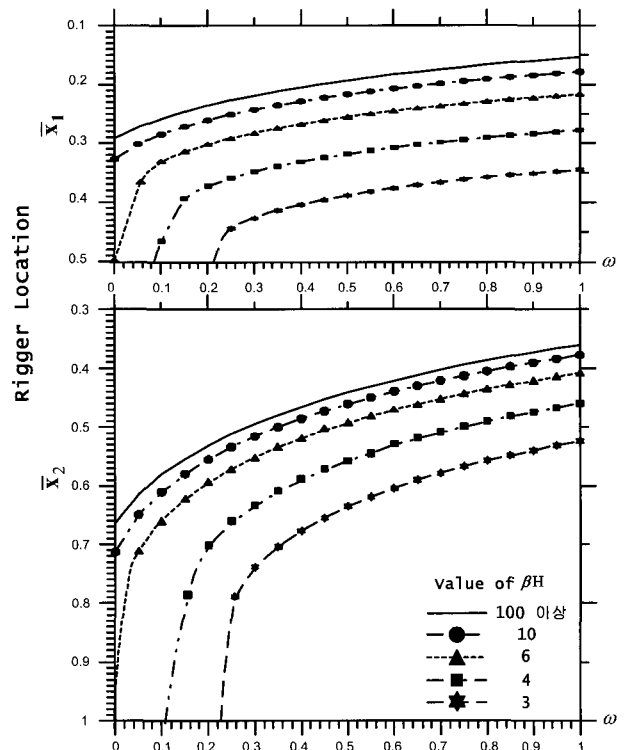


그림 13 2개의 리거를 가지는 구조물(삼각분포하중)

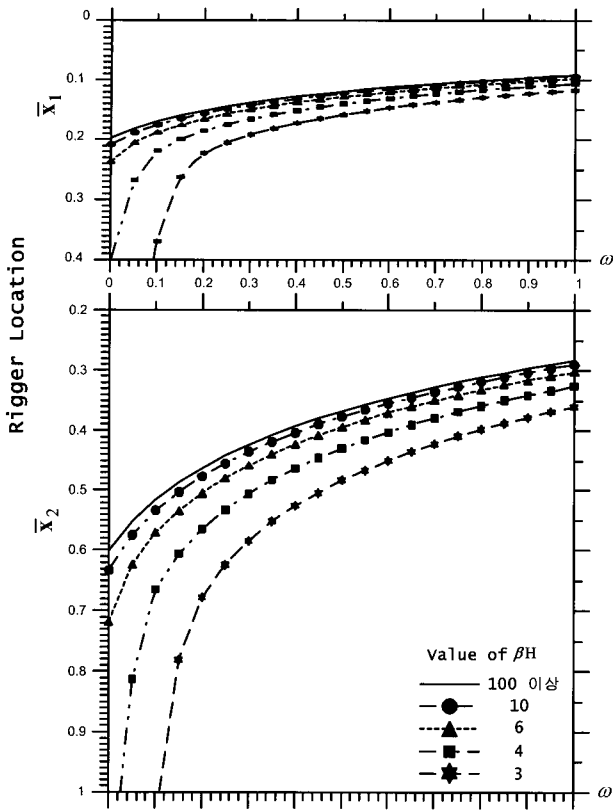


그림 14 2개의 리거를 가지는 구조물(집중하중)

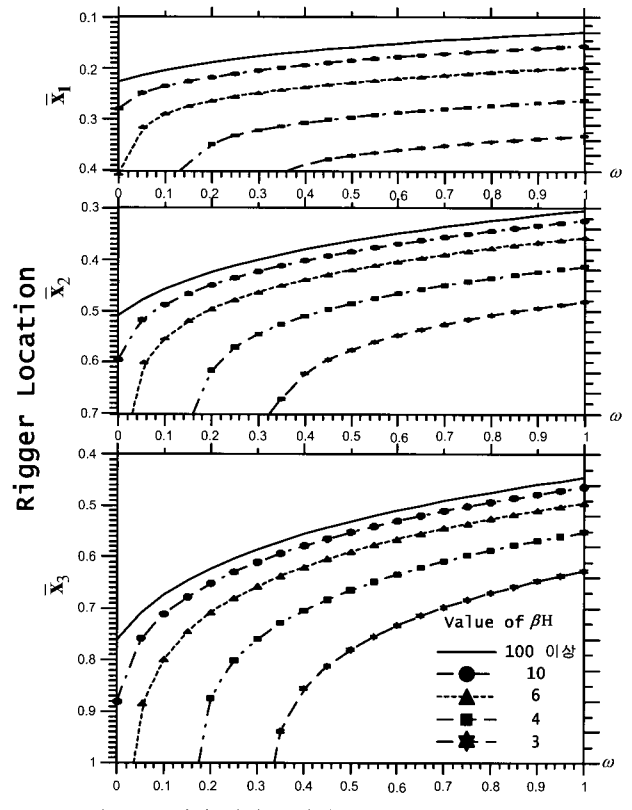


그림 16 3개의 리거를 가지는 구조물(삼각분포하중)

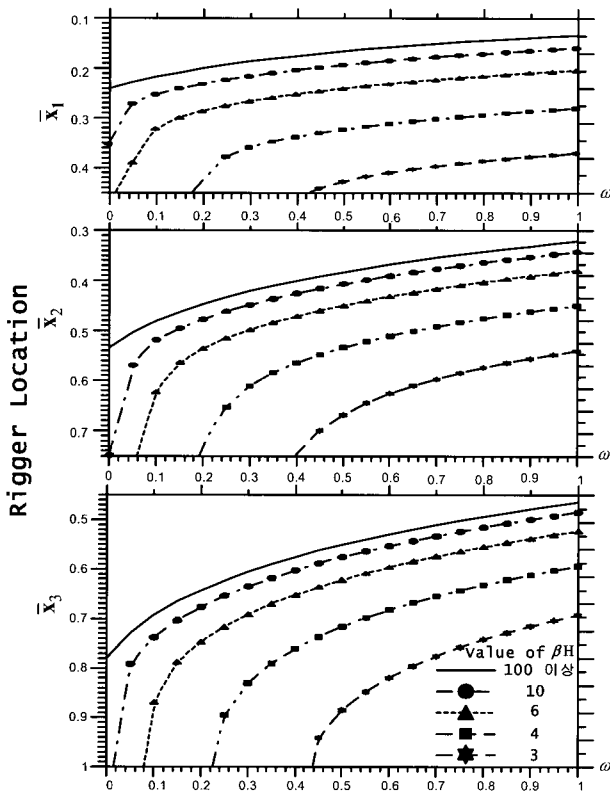


그림 15 3개의 리거를 가지는 구조물(등분포하중)

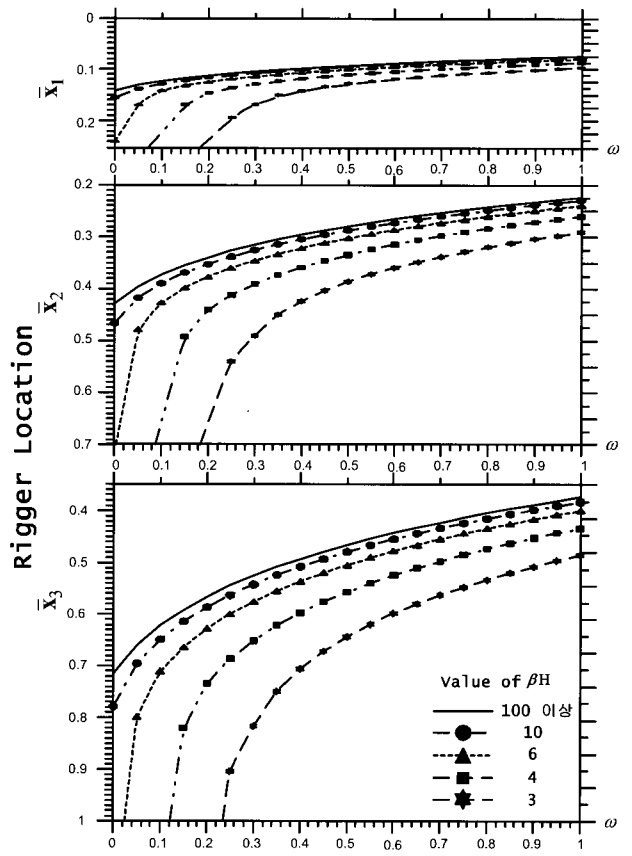


그림 17 3개의 리거를 가지는 구조물(집중하중)

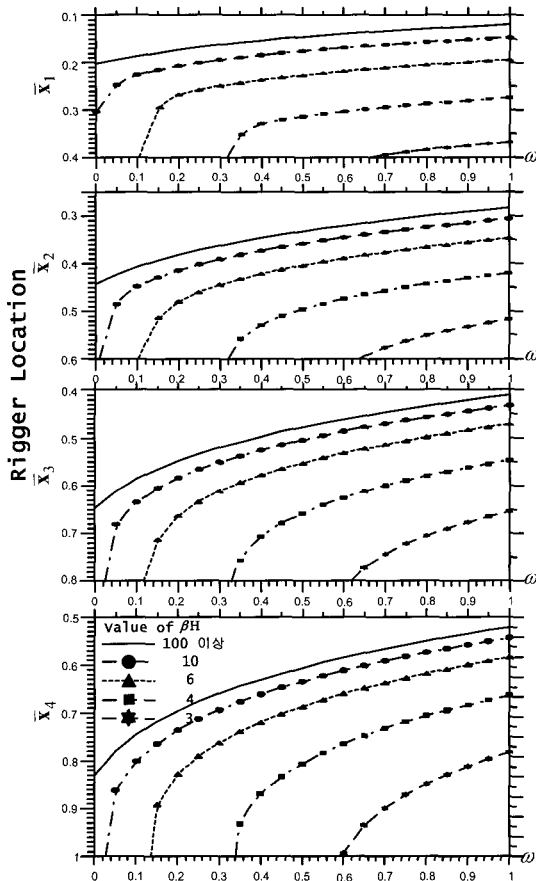


그림 18 4개의 리거를 가지는 구조물(등분포하중)

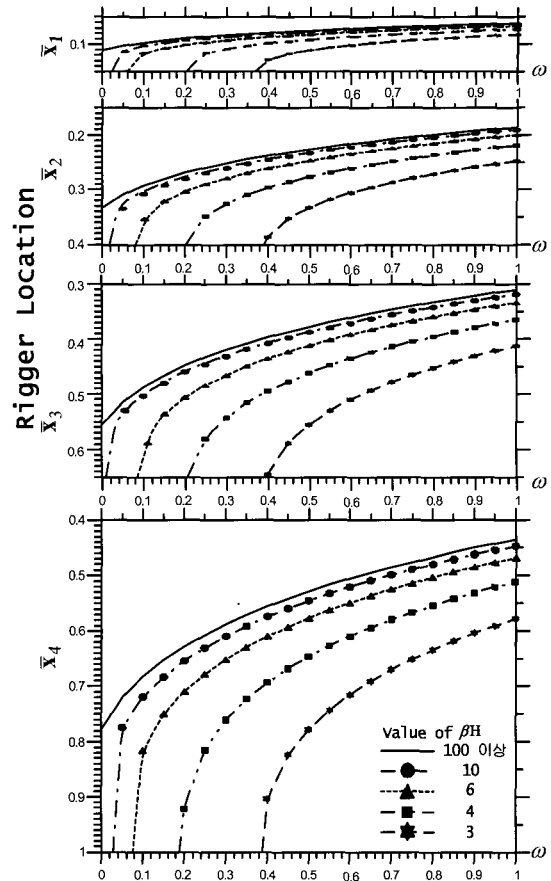


그림 20 4개의 리거를 가지는 구조물(집중하중)

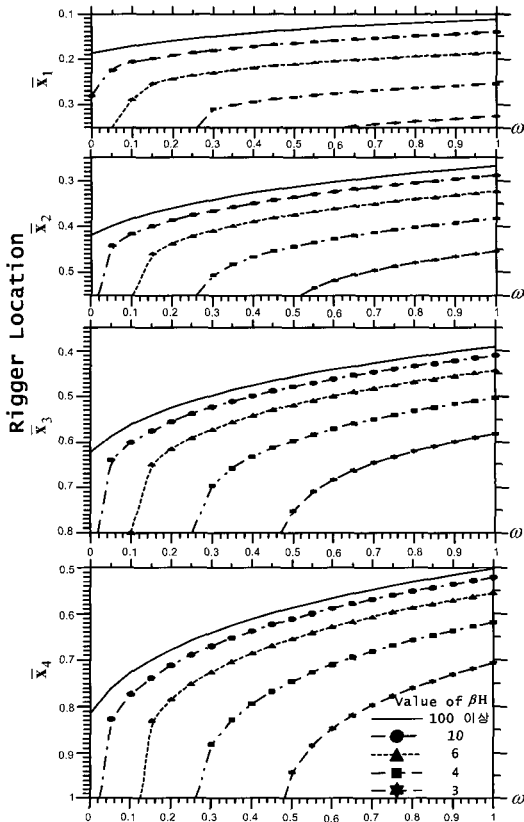


그림 19 4개의 리거를 가지는 구조물(삼각분포하중)

파사드리거의 상부와 하부 현재가 다이아프램 거동을 할 수 있는 구조물의 바닥슬래브와 일체로 설치되었을 경우 리거의 휨강성 EI_r 은 무한한 값을 가지게 된다. 리거의 휨강성이 증가할수록 변수 S_h 와 ω 가 감소하게 되며, 각 리거의 최적위치는 파사드리거의 개수와 하중의 형태에 관계없이 구조물 하부로 이동하게 된다.

또한 파사드골조의 휨강성인 EI_f 가 증가함에 따라 구조물에서 리거의 최적위치는 구조물의 상부로 이동하게 되며, 파사드리거의 전단강성 GA_r 이 커질수록 최적위치는 구조물의 하부 쪽으로 이동한다.

5. 결론

본 연구에서는 여러 개의 파사드리거가 설치되고 등분포하중과 삼각분포하중 그리고 구조물 상단에 집중하중이 작용하는 구조물을 대상으로 파사드리거의 최적위치를 추정하기 위한 매트릭스 해석방법을 제안하였으며, 해석모델을 토대로 본 이론해석과 Midas 해석결과를 비교하였다. 리거의 최적위치를 보다 손쉽게 구할 수 있도록 가새골조와 파사드리거

의 휨 강성 및 전단강성을 조합한 무차원 변수들로 구성된 근사식을 유도하였으며 이를 이용하여 1개부터 4개까지의 파사드리저가 설치된 구조물들을 대상으로 가새골조와 파사드리저의 휨강성 및 전단강성의 변화에 따른 리저의 최적위치를 그래프로 나타내었고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 파사드리저의 최적위치는 가새골조와 파사드리저의 휨강성 및 전단강성의 영향을 크게 받는다. 가새골조의 전단강성이 증가함에 따라 최적위치를 정의하는 변수 βH 는 그래프의 상부 쪽으로 이동하게 되며 따라서 큰 전단강성을 가지는 철근콘크리트 전단벽의 경우 각 그래프의 제일 상부에 위치하는 곡선을 적용할 수 있다.

(2) 리저의 최적위치는 리저의 개수와 관계없이 집중하중의 경우가 가장 높게 위치하며 삼각분포하중과 등분포하중의 순으로 구조물의 하부 쪽으로 이동한다.

(3) 파사드리저의 현재가 다이아프램 거동을 할 수 있는 구조물의 바닥슬래브와 일체로 결합되었을 경우 리저의 휨강성은 무한히 큰 값을 가지며, 따라서 각 리저의 최적위치는 리저의 개수와 하중의 형태에 관계없이 구조물의 하부 쪽으로 이동한다.

(4) 파사드리저 구조물에서 리저의 최적위치는 파사드골조의 휨강성이 증가함에 따라 구조물의 상부 쪽으로 이동하게 되며, 리저의 전단강성이 커질수록 구조물의 하단 쪽으로 이동하게 된다.

참 고 문 헌

- 김지영, 김명한, 김상대 (1996) Outrigger 시스템의 구조적 거동 및 효율성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 16(1), pp.353~358.
- 송화철 (1999) 엇갈림 오프셋 아웃리저 超高層 構造 시스템의 效率性, 대한건축학회논문집, 15(11), pp.19~26.
- 정동조, 이태희 (2003) 병렬코아를 갖는 아웃리저구조물의 응력과 변위, 한국전산구조공학회논문집, 16(3), pp.291~299.
- Hoenderkamp, J. C. D., Snijder, H. H. (2000) Simplified analysis of facade braced high-rise structures, *Struct. Des. Tall Build*, 9(3), pp.309~319.
- Hoenderkamp, J. C. D., Snijder, H. H. (2003) Preliminary analysis of High-rise braced frames with facade rigger, *ASCE* 2003, pp.640~647.
- Schueller, W. (1990) *The Vertical Building Structure*, Van Norstrand Reinhold.
- Stafford Smith, B., Coull, A. (1991) *Tall building structure: Analysis and design*, Wiley, New York.
- Stafford Smith, B., Cruvellier, M., Noller, M. J., Mahayari, A. T. (1996) Offset outrigger concept for tall building structures. *Proc., 67th Regional conf. on Tall Buildings-a World View*, Council on tall Buildings and Urban Habitat, Lehigh Univ., Bethlehem, pp.73~80.
- Stafford Smith, B., Salim, L. (1981) Parameter study of outrigger braced tall building structures. *J. Struc. Eng.*, 107(10), pp.2001~2014.
- Taranath, B. (1982) *Structural Analysis & Design of Tali Buildings*, McGraw-Hill.