

# 고정 지점을 갖는 X-브레이싱의 탄성 면외 좌굴

## Out-of-Plane Elastic Buckling of X-Bracing System with Fixed Ends

문지호\* · 윤기용\*\* · 이학은\*\*\*  
Moon, Jiho · Yoon, kyyong · Lee, Hakeun

### Abstract

This study investigated the out-of-plane elastic buckling load and effective length factor of X-bracing system. The members of X-bracing system which are studied in this paper are rigidly attached to the structure at their end connections, and are pinned or rigidly connected at their point of intersection. The effective length factors are derived for the general case where the tension and compression brace have different material and geometrical properties.

**key words** : X-Bracing, Elastic Buckling, Effective Length Factor

### 1. 서론

X-브레이싱은 경우에 따라 사재(Diagonals)가 구조물에 강접합 혹은 단순 연결될 수 있으며, 사재의 교차점 또한 강접합 혹은 단순연결 될 수 있다. 대부분의 X-브레이싱에 관한 연구는 구조물에 단순 연결된 강접합 교차점을 갖는 X-브레이싱의 면외 좌굴에 관하여 수행 되었다. (DeWolf & Peliccion, 1979; Stoman, 1989). 본 연구에서는 고정 지점을 갖는 X-브레이싱의 면외 유효 좌굴길이 계수에 관하여 연구를 수행 하였으며, 사재의 교차점은 강접합 혹은 단순 연결된 경우로 구분하여 면외 유효 좌굴길이 계수를 각각의 경우에 대하여 유도하였다. X-브레이싱의 사재의 부재크기가 증가하는 경우 사재는 거셋 플레이트를 이용하여 연결 하게 된다. 이러한 경우 거셋플레이트의 면외 강성이 작기 때문에 사재의 교차점은 단순연결로 가정할 수 있다. 그림 1은 단순 연결된 불연속 사재를 갖는 X-브레이싱의 예를 나타낸다.

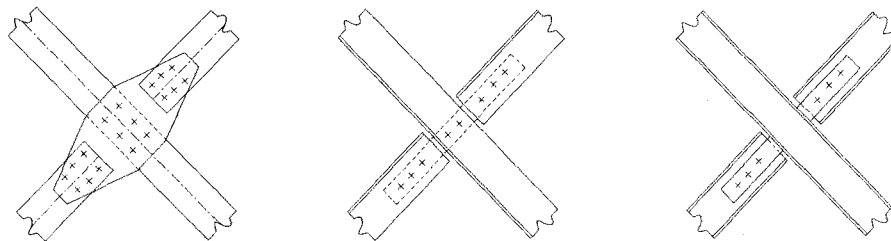


그림 1. 불연속 사재를 갖는 X-브레이싱.

그림 2는 본 연구에서 면외 유효 좌굴길이 계수 유도에 사용된 3가지의 X-브레이싱의 경계 조건을 나타낸다. 3가지 경우 모두 고정 지점을 갖고 있으며, 각각의 경우에 따라 사재의 접합의 경계 조건이 다르다. Case a의 경우 사재는 강접합으로 연결되어 있으며, Case b는 인장부재가 단순연결 되었으며, Case c는 압축부재가 단순연결 되었다. 본 연구에서는 그림 2의 3가지 경우에 관하여 면외 유효 좌굴길이 계수를 이론적으로 유도 하였다. 그림2에서  $L_T$ 는 인장부재의 길이,  $L_P$ 는 압축부재의 길이,  $T$ 는 인장력,  $P$ 는 압축력을 나타낸다.

\* 고려대학교 사회환경시스템공학과·박사과정·E-mail: deadalive@korea.ac.kr

\*\* 정희원·선문대학교 토목공학부·교수

\*\*\* 정희원·고려대학교 사회환경시스템공학과·교수

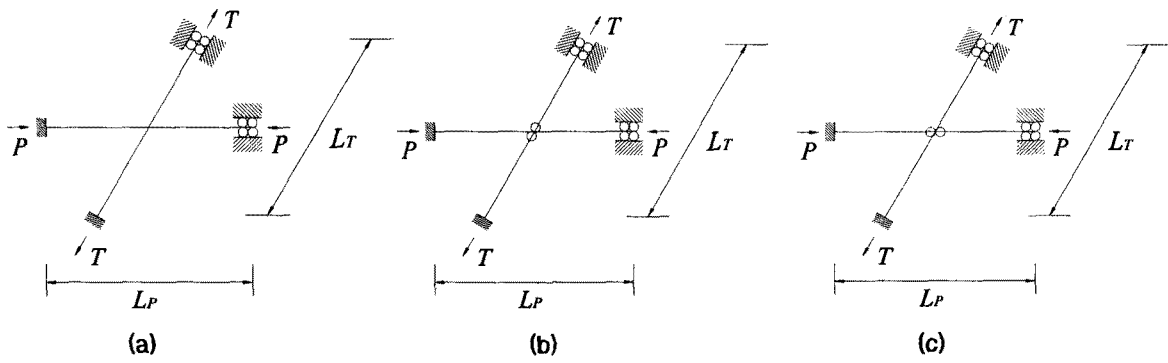


그림 2. 본 연구에서 사용된 X-브레이싱의 경계조건: (a) Case a, (b) Case b, (c) Case c.

## 2. X-브레이싱의 유효 좌굴길이 계수

X-브레이싱의 면의 유효 좌굴길이 계수는 인장부재를 탄성 스프링으로 치환하고 이를 이용하여 탄성 스프링으로 지지된 압축부재의 좌굴강도를 계산하는 문제로 간단히 할 수 있다.

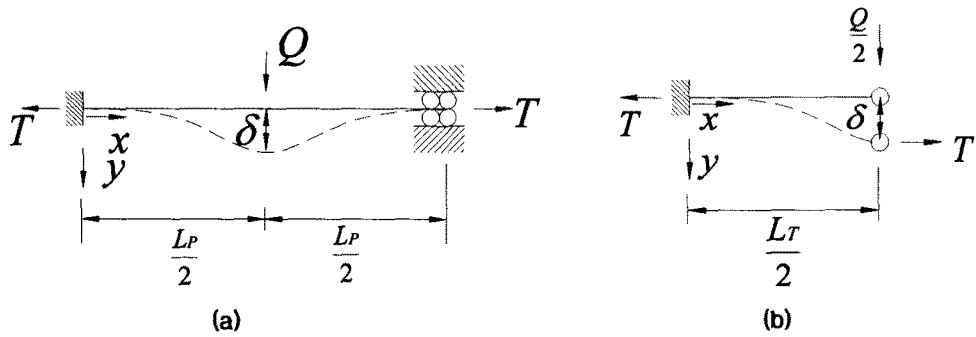


그림 3. 집중하중을 받는 인장부재 : (a) 연속 인장부재, (b) 불연속 인장부재.

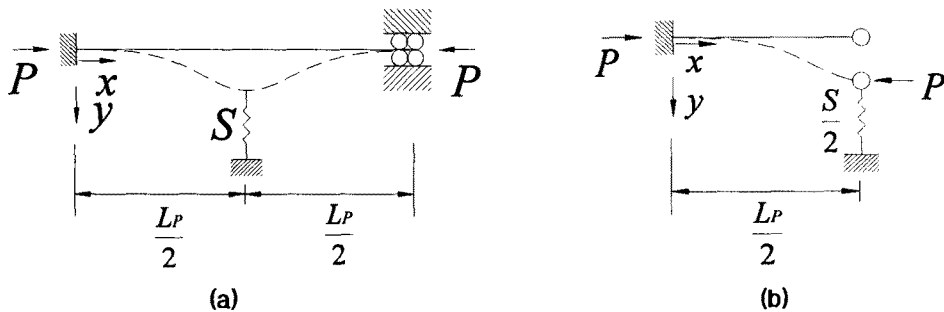


그림 4. 탄성 지지된 압축부재 : (a) 연속 압축부재, (b) 불연속 압축부재.

그림 3은 집중하중을 받는 인장부재를 나타낸다. 그림에서  $Q$ 는 집중하중,  $\delta$ 는 집중하중  $Q$ 에 대응하는 수직 변위를 나타낸다.  $Q$ 와  $\delta$ 의 관계에서 인장부재의 횡강성  $S$ 를 구할 수 있으며, 그림 3(a)와 같은 연속 인장부재의 경우

$$S = \frac{\pi^2(4P_{ET} + T)}{2L_T} \quad \text{where, } P_{ET} = \frac{\pi^2 E_T I_T}{L_T^2} \quad (1)$$

과 같으며, 그림 3(b)와 같은 불연속 인장부재의 경우는

$$S = \frac{\pi^2(P_{ET} + T)}{2L_T} \quad (2)$$

와 같다. 식 (1), (2)에서  $E_T$ 는 인장부재의 탄성계수,  $I_T$ 는 인장부재의 단면2차모멘트,  $P_{ET}$ 는 인장부재의 Euler 좌굴하중을 나타낸다.

그림 4는 탄성 지지된 압축부재를 나타낸다. 횡강성  $S$ 를 갖는 탄성 스프링으로 지지된 압축부재의 탄성 좌굴강도  $P_{cr}^E$ 는 그림 4(a)와 같은 연속 부재의 경우

$$P_{cr}^E = 4P_{EP} + \frac{L_P(4P_{ET} + T)}{L_T} \quad \text{where, } P_{EP} = \frac{\pi^2 E_P I_P}{L_P^2} \quad (3)$$

이며, 그림 4(b)와 같은 불연속 부재는

$$P_{cr}^E = 4P_{EP} + \frac{2L_P}{\pi^2} S \quad (4)$$

이다. 식 (3)과 (4)에서  $E_P$ 는 압축부재의 탄성계수,  $I_P$ 는 압축부재의 단면2차모멘트,  $P_{EP}$ 는 압축부재의 Euler 좌굴하중을 나타낸다. 면의 유효 좌굴길이 계수  $k$ 는 현재 작용하고 있는 압축력  $P$ 가 압축부재의 탄성 좌굴하중  $P_{cr}^E$ 와 같으면

$$k = \sqrt{\frac{P_{EP}}{P_{cr}^E}} = \sqrt{\frac{P_{EP}}{P}} \quad (5)$$

이므로, Case a의 경우 식 (1), (3) 그리고 (5)에 의하여 면의 유효 좌굴길이 계수  $k$ 는

$$k = \sqrt{\frac{1 - \frac{L_P}{L_T} \frac{T}{P}}{4 + 4 \frac{L_P^3}{L_T^3} \frac{E_T I_T}{E_P I_P}}} \geq 0.35 \quad (6)$$

이며, Case b의 면의 유효 좌굴길이 계수  $k$ 는 식 (2), (3) 그리고 (5)에 의하여

$$k = \sqrt{\frac{1 - \frac{L_P}{L_T} \frac{T}{P}}{4 + \frac{L_P^3}{L_T^3} \frac{E_T I_T}{E_P I_P}}} \geq 0.35 \quad (7)$$

이다. 마지막으로 Case c는 식 (1), (5) 그리고 (5)에 의하여 면의 유효 좌굴 길이 계수는

$$k = \sqrt{\frac{1 - \frac{L_P}{L_T} \frac{T}{P}}{1 + 4 \frac{L_P^3}{L_T^3} \frac{E_T I_T}{E_P I_P}}} \geq 0.35 \quad (8)$$

과 같다. 그림 5는 식 (6)~(8)과 유한요소 해석 결과를 비교한 그림이다.  $x$ 축은 인장력과 압축력의 비  $T/P$ 이며,  $y$ 축은 면의 유효 좌굴길이 계수  $k$ 를 나타낸다. 유한요소 해석 결과와 본 연구결과가 서로 잘 일치하는 것을 그림에서 알 수 있다.

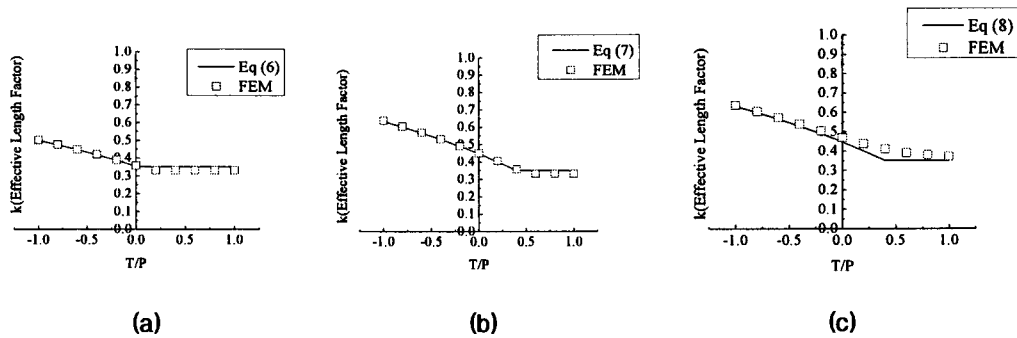


그림 5. 유한요소 해석 결과의 비교: (a) 식 (6), (b) 식 (7), (c) 식 (8).

### 3. 결 론

본 연구에서는 고정 지점을 갖는 X-브레이싱에 관한 면의 유효 좌굴길이에 관한 연구를 수행하였다. 고정 지점을 갖는 X-브레이싱은 각각 사재 교차점의 접합 방식에 따라 그림 2와 같이 3가지 경우로 구분하였으며, 각각 Case a, b, 그리고 c에 관하여 식 (6), (7), 그리고 (8)과 같이 면의 유효 좌굴길이 계수를 유도하였다. 유도된 면의 유효 좌굴길이 계수는 유한 요소 해석과 비교하였으며, 그 결과 두 결과가 서로 잘 일치 하였다.

### 감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업 에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. DeWolf, J. T., and Pelliccione, J. F. (1979) Cross-Bracing Design, ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 105, No. ST7, pp. 1379-1391.
2. Stoman, S. H. (1989) Effective Length Spectra for Cross Bracings, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 12, pp. 3112-3122.