

# 프리스트레스트 콘크리트 박스거더의 횡방향 극한거동 실험 연구

## Lateral ultimate behavior of prestressed concrete box girder bridges

오병환\*                      최영철\*\*                      이성철\*\*  
Oh, Byung Hwan    Choi, Young Choel    Lee, Seung Cheol

### ABSTRACT

The concrete box girder members are extensively used as a superstructure in bridge construction. The load carrying capacity of concrete box girders in lateral direction is generally influenced by the sizes of haunch and web. The internal upper decks are restrained by the webs and exhibit strength enhancement due to the development of arching action. The current codes do not have generally consider the arching action of deck slab in the design because of complexity of the behavior. However, there are significant benefits in utilizing the effects of arching action in the design of concrete members. The main objective of this paper is to propose a rational method to predict the ultimate load of deck slab by considering various haunch sizes and web restraint effect of concrete box girder bridges. To this end, a comprehensive experimental program has been set up and seven large-scale concrete box girders have been tested. A transverse analysis model of concrete box girders with haunches is proposed and compared with test data. The results of present study indicate that the ultimate strength is significantly affected by haunch dimension. The increase of strength due to concrete arching action is reduced with an increase of prestressing steel ratio in laterally prestressed concrete box girders and increases with a larger haunch dimension. The proposed theory allows more realistic prediction of lateral ultimate strength for rational design of actual concrete box girder bridges.

#### 1. 서론

일반적으로 콘크리트 박스거더는 상부 바닥판의 하중에 대한 거동은 현치의 형상에 의해 다르며, 현치 형상에 의해 극한하중 저항능력도 달라진다. 또한 박스거더의 상부 바닥판은 웹에 의해 구속을 받게 되며, 이러한 구속효과 때문에 콘크리트 부재는 아칭효과가 발생하여 강도의 증가가 발생된다. 하지만 이러한 점들은 현치에 의한 정확한 영향과 구속도의 산정이 상당히 어렵기 때문에 실제 설계에 반영이 되고 있지 않다. 본 연구에서는 이러한 점을 규명하기 위해서 실 크기의 박스거더 시험체를 제작하였으며 극한하중 실험을 수행하였다. 또한 상부 바닥판의 현치의 영향과 박스거더 웹의 구속효과를 정량적으

\*정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

\*\*정회원, 서울대학교 대학원 박사과정

로 산정하여 이를 고려한 실제 횡방향 박스거더의 극한강도를 예측하는 방법을 제시하였다. 실험결과와 비교하여 제시된 방법이 상당히 정확하다고 판단되며, 박스거더 교량의 정밀 해석 및 설계에 있어 상당히 도움이 될 것으로 판단된다.

## 2. 구속효과에 의한 휨강도 증가

### 2.1 개요

Fig. 1은 횡방향으로 구속된 부재의 구속효과에 의한 하중의 증가를 나타내고 있다. Fig. 2는 변단면이 있는 콘크리트 부재의 구속효과에 의한 변형을 나타내고 있으며 휨강도의 증가는 아칭축력(arching trust force)과 레버암(lever arm)의 곱으로 나타낼 수 있다. McDowell et al. 은 Fig. 2에서와 같이 완전히 구속된 콘크리트 구조물에 대해서 접축된 면적에서의 대한 콘크리트의 응력 분포를 이론적으로 이끌어 냈으며, 다음과 같은 무차원의 R과 u에 대한 함수로 표시하였다. 그리고 아칭 축력(arching trust force)과 레버암(lever arm)은 식 (2)와 같이 표현 될 수 있으며 완전 구속효과에 아칭모멘트는 식 (3)과 같다.

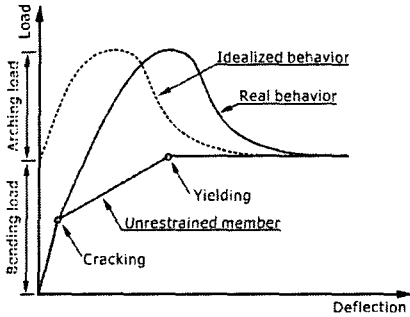


Fig. 1 Schematic diagram for cross section

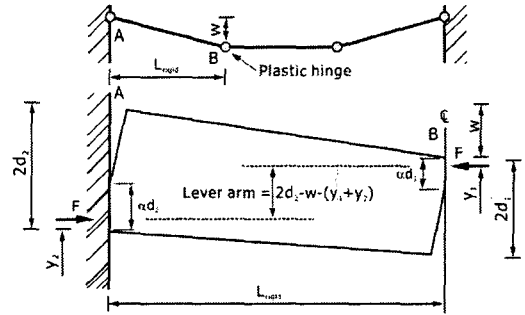


Fig. 2 Idealized geometry of deformation of half span of the restrained member with haunch

$$R = \frac{\epsilon_c L_{rigid}^2}{4d_1^2}, \quad u = \frac{w}{2d_2}, \quad 2d_1 = h_1 - (\rho + \bar{\rho}) \frac{f_y d}{0.85 f_c'}, \quad 2d_2 = 2d_1 \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

여기서,  $\epsilon_c$ 는 콘크리트의 소성변형률이며,  $w$ 는 Fig. 2의 B지점의 처짐이며,  $\rho$ ,  $\bar{\rho}$ 는 각각 정, 부 모멘트 철근비이다.

$$P_a = 0.85 f_c' d_1 \left( 1 - \frac{u}{2} - \frac{R}{2u} \right), \quad L_{arm} = 2d_2 - w - (y_1 + y_2) \quad (2)$$

여기서,  $y_1 = \frac{\alpha d_1}{3} = \frac{d_1}{3} (1 - u/2)$ ,  $y_2 = \frac{\alpha d_2}{3} = \frac{d_2}{3} (1 - u/2)$

$$M_{rigid} = 0.85 f_c' d_1 \left( 1 - \frac{u}{2} - \frac{R}{2u} \right) [2d_1 - 2ud_2 - (y_1 + y_2)] \quad (3)$$

구속효과에 의해 최대 아칭 모멘트를 구하기 위해서 McDowell et al.이 제안한 직사각형 단면에 대한 아칭 모멘트의 비의 식에서부터 다음과 같이 최대 아칭모멘트가 발생되는  $u$ 값을 산정하였다.

$$\begin{aligned} u &= 0.31 & \text{for } R > 0.262 \\ u &= 0.776 R^{0.695} & \text{for } 0 \leq R < 0.262 \end{aligned} \quad (4)$$

## 2.2 횡방향 구속정도의 영향

실제 구조물의 구속 경계조건은 완전히 구속되어 있지 않다. 이러한 점을 고려하기 위해서 Fig. 3과 같이 완전 구속된 경우와 횡방향으로 스프링으로 구속된 경우에 대해서 똑같은 하중에 대해 변위가 같도록 하여 횡방향 구속도를 식 (5)를 이용하여 (6)과 같이 구할 수 있다. 식 (6)을 이용하여 실제 구속효과에 의한 아칭모멘트는 식 (7)과 같이 산정 할 수 있다.

$$\delta_{rigid} = \delta_{elastic} = \frac{L_{rigid}}{A_c E} \frac{P}{\sin \beta} = \frac{\cot \alpha}{K} + \frac{L_{elastic}}{\sin \alpha^2} + \frac{A_c E \cos \alpha^2}{\sin \alpha^2} \quad (5)$$

$$L_{rigid} = L_{elastic} \left[ 1 + \frac{E_c A}{K L_{elastic}} \left( 1 + \frac{\Delta}{L_{elastic}} \right) \right]^{1/3} \quad (6)$$

$$M_a = M_{arigid} \frac{L_{elastic}}{L_{rigid}} \quad (7)$$

## 2.3 박스거더의 횡방향 구속도

박스거더의 웹에 의한 상부 바닥판의 구속정도를 고려하기 위해서 Fig. 4와 같이 웹과 하부 슬래브를 모델링하여 횡방향 구속 스프링 계수를 식 (8)과 같이 구하였다.

$$K = E_c b / \left( \frac{L_w}{t_w} \cos \alpha^2 + \frac{L_B}{2t_w} + \frac{4L_w^3}{t_w^3} \sin \alpha^2 + \frac{3L_w^2 L_B}{2t_B^3} \sin \alpha^2 \right) \quad (7)$$

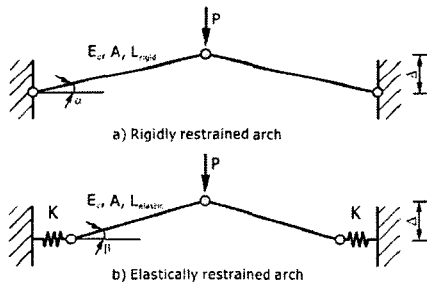


Fig. 3. Equivalent three hinged arches

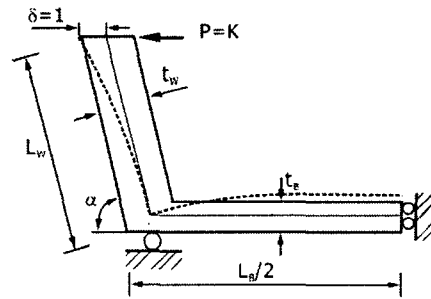


Fig. 4 Elastic spring coefficient, K

## 3. 박스거더의 횡방향 상부 바닥판의 극한강도 실험

본 연구에서는 박스거더의 정적재하 실험을 통한 박스거더의 상부 바닥판의 횡방향 극한하중을 검토하기 위해서 Fig. 5, Fig. 6 과 같이 현치의 형상 및 횡방향 프리스트레싱의 정도를 실험 변수로하여 시험체를 제작하였다. 콘크리트 강도는 모든 시편에 대해서 39.2MPa이며, 단면 특성은 Table 1.에 나타내었다. HCASE series 시편은 종방향으로 1m이며 LPCASE series 시편은 종방향으로 2.5m로 제작하였다.

Table 1. Section properties of test specimens

Specimen	Cover (mm)	$A_{su}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{sb}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )
HCASE1	40	2292	1589	-
HCASE2	40	2292	1589	-
HCASE3	40	2292	1589	-
LPCASE1	30	7163	4965	-
LPCASE2	30	1033	659	333
LPCASE3	30	1033	659	499
LPCASE4	30	659	371	666

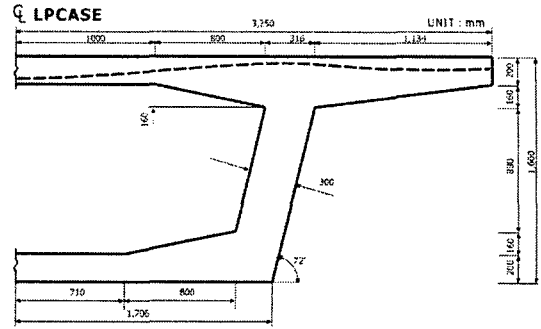
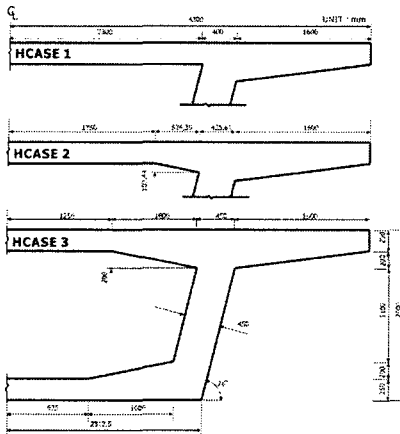


Fig. 5 Section dimensions of HCASE series specimens Fig. 6 Section dimensions of LPCASE series specimens

#### 4. 실험결과 분석 및 비교

Fig. 7은 식 (7)에 의한 구속효과에 의한 휨강도 증가를 고려하여 산정된 박스거더의 횡방향 극한 하중을 실험결과와 비교하고 있으며, Fig. 8은 예상 극한 하중시의 시험체의 처짐을 실험결과와 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 예상 극한 하중은 실험결과와 상당히 일치하고 있으며, 예측된 하중이 어느 정도 안정성을 확보하고 있다고 판단된다.

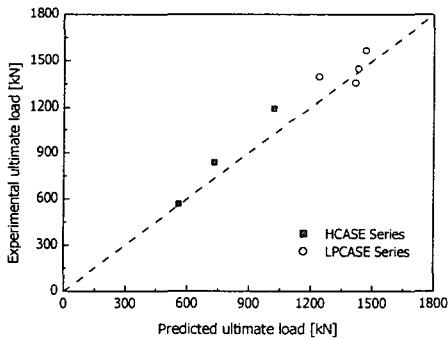


Fig. 7 Comparison of predicted ultimate loads with test results

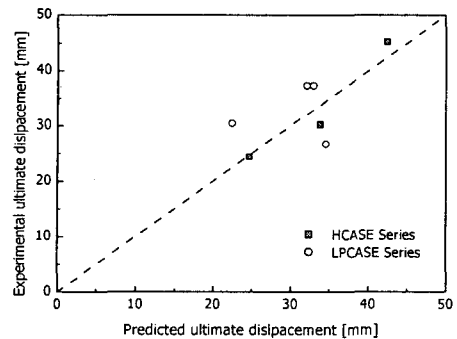


Fig. 8 Comparison of predicted ultimate displacements with test results

#### 5. 결론

본 연구에서는 박스거더의 헌치 형상별, 횡방향 프리스트레싱의 정도에 따른 박스거더 실험을 수행하였으며, 박스거더의 헌치 형상과 웹의 구속효과를 고려한 박스거더의 횡방향 극한 하중을 산정하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 방법은 상당히 정밀도가 높음을 실험을 통하여 검증하였으며, 실제 박스거더의 설계 및 해석에 유용한 자료가 될 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. McDowell, E. L., McLee, K. E. and Sevin, E. (1956). "Arching Action Theory of Masonry Walls." Journal of the Structural Division, Proceedings, American Society of Civil Engineers, 1956, 82(ST2), 915-1-915-18.