

# 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 초기 긴장력 결정

Determination of the Initial Tendon Force in Two-span Continuous Steel-Concrete Composite Beam Strengthened with External Tendons

최 동 호\*

Choi, Dong Ho

유 동 민\*\*

Yoo, Dong Min

정 재 동\*\*\*

Jung, Jae Dong

김 은 지\*\*\*\*

Kim, Eun Ji

## Abstract

This paper presents a method to enhance the load carrying capacity for a two-span continuous steel-concrete composite beam strengthened with external tendons. The tendon is placed at the bottom of steel beam where the positive bending moment occurs. This results in the reduction of the negative bending moment as well as the positive bending moment. This paper describes the procedure to determine the number of tendon and the initial tendon force for the target rating factor in the rating factor equation. An example beam is given to demonstrate the proposed procedure, and its validity is confirmed.

## 요 지

본 논문은 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 내하력을 향상시키기 위한 방법을 제시하였다. 긴장재를 정모멘트 구간의 강주형 하부에 설치하였다. 이 방법은 정모멘트 뿐만 아니라 부모멘트도 감소시킬 수 있다. 강합성보를 긴장재로 보강함으로써 내하율 식에서 목표 내하율을 만족시키기 위한 긴장재 개수와 초기 긴장력의 결정방법을 기술하였다. 본 방법을 실험량의 강합성보에 적용하여 타당성을 입증하였다.

**Keywords** : External tendon, Two-span continuous composite beam, Rating factor, Initial tendon force

**핵심 용어** : 외부 긴장재, 2경간 연속 강합성보, 내하율, 초기 긴장력

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 부교수

\*\* 학생회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\*\* 학생회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

E-mail : samga@hanyang.ac.kr, 02-2220-0328

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2006년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

교량의 보수·보강방법 중에서 외부 긴장재를 이용한 보강방법을 도입하면 실용성과 경제성에 있어서 효율적인 보수·보강을 할 수 있고, 구조물의 탄성거동범위를 증대시키며, 극한하중의 증가와 피로 및 파괴강도를 향상시킨다. 또한 기존의 다른 보강공법과 비교하여 상당히 유리한 보강공법의 하나로 여겨지고 있다(Troitsky 등, 1989; Saadatmanesh 등, 1989a, b).

연속 강교의 프리스트레싱은 1949년 Dischinger에 의해 제안되었다. 이후 Saadatmanesh 등(1989a, b, c)은 외부 긴장재로 보강된 강합성보의 정모멘트 구간과 부모멘트 구간의 거동에 대해 탄성 및 소성 해석방법을 제시하였으며, 실험 결과와 비교·분석하여 해석적 연구 결과의 합리성을 보였다. Troitsky(1990)는 연속교에 프리스트레싱을 도입하면 강재의 절약과 상부 콘크리트 슬래브의 균열을 막을 수 있고, 긴장재의 배치형상과 정착구 위치에 따라 프리스트레싱 효과가 달라진다고 하였다. Tong과 Saadatmanesh(1992)는 외부 긴장재로 보강된 연속 강합성교의 탄성해석에 대한 일반적인 해석모델을 제안하였으며, 긴장력, 편심거리, 긴장재 배치형상, 긴장재 설치길이의 설계변수 효과에 대해 분석하여 연속 강합성보의 거동을 분석하였고, 기존 교량에 대한 보강설계 예를 통해 보강효과를 검토하였다. Klaiber 등(1998)은 2개의 연속교량에 대해 긴장재의 배치를 달리하여 현장실험을 하였고, 외부 긴장 보강에 따른 긴장력의 증방향 및 횡분배 영향을 분석하여 부모멘트 구간의 응력 감소효과를 검토하였다.

외부 긴장재로 보강된 연속 강합성 교량에 대한 국내 연구로써 백동훈 등(1997)은 3경간 연속 강합성보의 외부 후긴장에 의한 보강 효과와 적용방법에 대한 연구를 통해 정모멘트구간에 긴장재를 설치하여도 정·부 모멘트의 감소효과를 얻을 수 있고, 횡분배에 의해 일부 보에만 긴장재를 설치하여도 모든 보의 휨강성 증가를 유도할 수 있다고 하였다. 최형규 등(2003)은 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 H-Beam에 대하여 긴장재의 배치형상에 따른 지간 중앙부의 처짐 감소효과를 실험을 통해 비교·분석하였다. 그 결과, 긴장재의 절곡배치가 처짐감소에 효과적임을 보였다. 한만엽

과 이상욱 (2004)은 콘크리트 교량을 외부 긴장재로 보강하기 위한 보강량 산정 방법을 제시하였다.

국내의 경우에 외부 긴장 보강공법은 콘크리트 교량에 먼저 적용되었으며 많은 보수·보강 사례가 있다. 강교에 대해서는 연구개발 단계에서 실용화 단계로 접어들고 있으며 실교량에 대한 보강사례(박영훈 등, 2004)와 가설교의 적용사례(조두용 등, 2002)가 있다. 그러나 외부 긴장재를 이용한 기존 교량의 효과적인 보강을 위해서는 보강 후 목표로 하는 내하율을 만족시키기 위한 긴장재의 배치형상, 개수, 초기 긴장력의 결정과정에 있어서 충분한 검토를 해야한다. 또한 보강설계 변수의 결정과정에 대한 합리적이고 구체적인 방법의 제시가 필요하다. 강합성 교량의 보강설계 시 초기 긴장력은 허용응력을 만족시키는 보강응력 또는 추가되는 하중에 의해 증가하는 응력을 보강응력으로 정하여 초기 긴장력을 산정하였다. 그러나 일반적으로 공용중인 교량에 대한 보강의 경우에 기존의 내하력을 상향시키고자 이루어지는 경우가 대부분이므로, 보강 후 원하는 목표 내하력을 만족시킬 수 있는 초기 긴장력을 결정하는 것이 효율적이다.

본 논문에서는 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 내하력을 향상시키기 위해 외부 긴장력 도입에 의한 강합성보의 거동을 해석하였으며, 내하율 산정식을 이용하여 보강 후 목표 내하율을 만족시킬 수 있는 초기 긴장력과 긴장재 개수의 결정 과정을 제시하였다. 또한, 실교량에 적용하여 합리성을 보였다.

## 2. 2경간 연속 강합성보

### 2.1 2경간 연속 강합성보의 긴장재 배치

2경간 연속 강합성보는 중력 방향의 하중에 대해 경간 중앙부에서는 정모멘트가 발생하고 내부 지점부에서는 부모멘트가 발생한다. 기존 연속 강합성교량의 경우 내하력 향상을 위해서 경간 중앙부와 내부지점부에 모두 긴장재를 설치하는 경우도 있으나, 경간 중앙부만 보강하여도 정모멘트는 물론 내부 지점부의 부모멘트의 감소효과도 볼 수 있다(Tong과 Saadatmanesh, 1992).

그러므로 설계 시 적절한 긴장재 배치형상을 결정하고 적합한 초기 긴장력을 도입함으로써 시공성과 경제성면에서 효율적인 보강을 할 수 있다.

## 2.2 각 경간 중앙부에 긴장재 설치 시 모멘트와 응력분포

Fig. 1은 각 경간 중앙부에 긴장재를 설치하였을 때 고정하중과 외부 긴장력에 의해 발생하는 모멘트도를 나타낸다. 내부 지점의 반력  $R$ 과 모멘트  $M$ 은 변형 일치법으로 계산하였다.  $R$ 은 긴장력 도입에 의한 내부지점의 반력이다.

경간 중앙부의 긴장력 도입에 의한 내부지점의 반력  $R$ 는 식 (1)과 같고, 긴장력 도입에 의한 모멘트  $M_T$ 는 식 (2)과 같다.

$$R = \frac{48Teb(a+0.5b)}{L^3} \quad (1)$$

$$M_T = \frac{1}{2} Rx, \quad 0 \leq x < a \quad \text{또는} \quad a+b \leq x \leq l \quad (2-a)$$

$$M_T = \frac{1}{2} Rx - Te, \quad a \leq x < a+b \quad (2-b)$$

여기서,  $T$ 는 도입 긴장력이고,  $e$ 는 편심거리,  $b$ 는 긴장재 설치 길이,  $a$ 는 단부지점으로부터 긴장재의 정착구 중심까지의 거리이다. 각 경간의 긴장재 설치는 대칭이므로 두 번째 경간의 모멘트식은 식 (2)와 부호가 반대이다. Fig. 2는 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 정모멘트 구간 (Fig. 1의 단면 A-A)의 단면응력을 나타낸다.

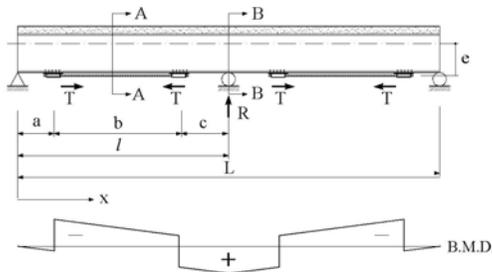


Fig. 1 경간 중앙부에 외부 긴장력 도입시 2경간 연속보의 모멘트도

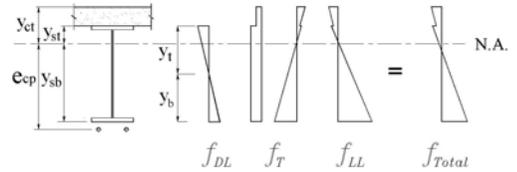


Fig. 2 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 정모멘트 구간 (Fig. 1의 단면 A-A)의 단면응력 분포

초기 고정하중에 의해 발생하는 모멘트  $M_{DL}$ 와 외부활하중 재하시 발생하는 모멘트  $M_{LL}$ 에 의해서 합성보의 콘크리트 상부와 상부플랜지에는 압축응력이 발생하고 하부플랜지에는 인장응력이 발생한다. 그리고 긴장재에 긴장력  $T$ 를 도입하면 이때 발생하는 압축력  $T$ 에 의해서 단면 전체에 압축응력이 발생하고, 부모멘트  $M_T$ 에 의해서 상부에는 인장응력, 하부에서는 압축응력이 발생한다. 따라서 긴장력  $T$ 가 도입된 2경간 연속 강합성보에 외부하중이 작용할 때 경간 중앙부 단면에서 콘크리트 슬래브 상부와 거더 상·하부의 응력  $f_c^t$ ,  $f_s^t$ 과  $f_s^b$ 는 식 (3), (4), (5)와 같다.

$$f_c^t = \frac{1}{n} \left( -\frac{T}{A_{cp}} + \frac{M_T}{I_{cp}} y_{ct} - \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{ct} \right) \quad (3)$$

$$f_s^t = -\frac{M_{DL}}{I_s} y_t - \frac{T}{A_{cp}} + \frac{M_T}{I_{cp}} y_{st} - \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{st} \quad (4)$$

$$f_s^b = \frac{M_{DL}}{I_s} y_b - \frac{T}{A_{cp}} - \frac{M_T}{I_{cp}} y_{sb} + \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{sb} \quad (5)$$

여기서,  $n$ 는 탄성계수비 ( $= E_s/E_c$ ),  $A_{cp}$ 는 합성보의 단면적,  $I_{cp}$ 는 합성보의 단면2차 모멘트,  $I_s$ 는 강재의 단면2차 모멘트,  $M_{DL}$ 은 고정하중에 의한 모멘트,  $M_{LL}$ 은 활하중에 의한 모멘트,  $M_T$ 는 긴장력 도입에 의한 모멘트,  $y_t$ 는 강재 단면의 중립축으로부터 상부플랜지 상단까지의 거리,  $y_b$ 는 강재 단면의 중립축으로부터 하부플랜지 하단까지의 거리,  $y_{ct}$ 는 합성 단면의 중립축으로부터 콘크리트 슬래브 상단까지의 거리,  $y_{st}$ 는 합성단면의 중립축으로부터 상부플랜지

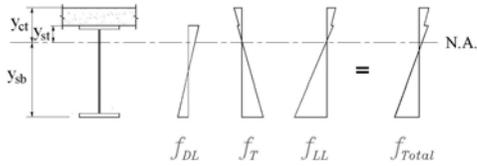


Fig. 3 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 내부 지점부 (Fig. 1의 단면 B-B)의 단면응력 분포

상단까지의 거리,  $y_{sb}$ 는 합성단면의 중립축으로부터 하부플랜지 하단까지의 거리이다.

Fig. 3은 외부 긴장재로 보강된 2경간 연속 강합성보의 내부지점부 (Fig. 1의 단면 B-B)의 단면응력을 나타낸다. 초기 고정하중에 의해 발생하는 모멘트  $M_{DL}$ 와 외부활하중에 의해 발생하는 모멘트  $M_{LL}$ 에 의해서 합성보의 콘크리트 상부와 상부플랜지에는 인장응력이 발생하고 하부플랜지에는 압축응력이 발생한다. 그리고 긴장재에 긴장력  $T$ 를 도입하면 부모멘트  $M_T$ 에 의해서 상부에는 압축응력, 하부에서는 인장응력이 발생한다. 따라서 긴장력  $T$ 가 도입된 2경간 연속 강합성보에 외부하중이 작용할 때 내부 지점부 단면에서 콘크리트 슬래브 상부와 거더 상·하부의 응력  $f_c^t$ ,  $f_s^t$ 과  $f_s^b$ 는 식 (6), (7), (8)과 같다.

$$f_c^t = \frac{1}{n} \left( -\frac{M_T}{I_{cp}} y_{ct} + \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{ct} \right) \quad (6)$$

$$f_s^t = \frac{M_{DL}}{I_s} y_{st} - \frac{M_T}{I_{cp}} y_{st} + \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{st} \quad (7)$$

$$f_s^b = -\frac{M_{DL}}{I_s} y_{sb} + \frac{M_T}{I_{cp}} y_{sb} - \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{sb} \quad (8)$$

### 3. 초기 긴장력 결정

외부 긴장재를 이용하여 기존 연속 강합성교량을 보강할 경우, 긴장재의 배치위치와 배치형상에 따라 도입해야하는 초기 긴장력이 달라진다. 또한 정모멘트 구간과 부모멘트 구간에 따라서도 필요로 하는 초기 긴장력이 다르다. 본 논문에서는 2경간 연속 강합성보

의 경간 중앙부 하부 플랜지 하단에 긴장재를 직선 배치하였을 경우에 대해 내하율 산정식을 이용하여 초기 긴장력과 긴장재 개수의 결정 방법을 제시하였다.

### 3.1 내하율 산정식

일반적으로 공용중인 교량에 대한 보강의 경우, 기존의 내하력을 상향시키고자 이루어지는 경우가 대부분이다. 일반적인 교량의 내하율(Rating Factor)은 식 (9)에 의해 계산된다(도로교의 내하력평가 실무매뉴얼, 2002).

$$RF = \frac{f_a - f_{DL}}{f_{LL}(1 + i)} \quad (9)$$

여기서,  $f_a$ 는 거더의 허용응력,  $f_{DL}$ 는 고정하중에 의한 부재의 응력,  $f_{LL}$ 은 활하중에 의한 부재의 응력,  $i$ 는 충격계수(15/(40+경간장))이다.

외부 긴장재로 보강된 보에서, 고정하중에 의한 응력  $f_{DL}$ 는 긴장력에 의한 응력  $f_T$ 만큼 감소되므로 내하율  $RF'$ 은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다 (Saadatmanesh, 1989c).

$$RF' = \frac{f_a - (f_{DL} + f_T)}{f_{LL}(1 + i)} \quad (10)$$

여기서,  $f_T$ 는 긴장력 도입에 의한 부재의 응력,  $f_{LL}$ 은 목표 활하중에 의한 부재의 응력이다.

### 3.2 경간 중앙부에 긴장재를 배치하였을 경우의 초기 긴장력 결정

본 논문에서는 식 (10)의 내하율 산정식을 이용하여 2경간 연속 강합성교량의 초기 긴장력 산정 방법을 제시하고자 한다. 외부 긴장재로 2경간 연속보의 내하력을 향상시키기 위해 정모멘트 구간에만 긴장력을 도입하는 경우, 초기 긴장력은 정·부 모멘트 각 구간에 대해 필요한 긴장력을 계산한 후 더 큰 긴장력을 초기 긴장력으로 결정한다. 그러나 초기 긴장력 도입에 의해 콘크리트 슬래브의 인장응력이 콘크리트의 허용 휨

인장응력을 넘지 않아야한다.

초기 긴장력은 식 (10)의 내하를 산정식을 이용하여 구할 수 있으며, 그 방법은 다음과 같다. 목표 내하율을  $RF'$ 으로 정하고, 식 (10)을 초기 긴장력에 대해 정리하면 식 (11)과 같다.

$$f_T = f_a - f_{DL} - RF' \cdot f_{LL}(1+i) \quad (11)$$

### 3.2.1 정모멘트 구간에 필요한 긴장력 산정

식 (11)의 긴장재의 응력  $f_T$ 를 긴장재의 긴장력으로 표시하기 위해 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$-\left(\frac{T}{A_{cp}} + \frac{M_{T1}}{I_{cp}} y_{sb}\right) = f_a - f_{DL} - RF' \cdot f_{LL}(1+i) \quad (12)$$

여기서,  $f_{LL}(1+i)$ 는 외부 활하중에 의해 발생하는 정모멘트 구간의 최대 응력이며,  $M_{T1}$ 은 정모멘트 구간에 외부 긴장재를 설치하고 긴장력을 도입하였을 때, 정모멘트 구간에 발생하는 모멘트로써, 식 (13)과 같이 표현된다.

$$M_{T1} = \left(\frac{24 b (a+0.5b) ex}{L^3} - e\right) T \quad (13)$$

그러므로 식 (13)을 식 (12)에 대입한 후, 긴장재의 긴장력에 대해 정리하면 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{RF' \cdot f_{LL}(1+i) - (f_a - f_{DL})}{\left(\frac{24 b (a+0.5b) ex - eL^3}{I_{cp} L^3} y_{sb} + \frac{1}{A_{cp}}\right)} \quad (14)$$

### 3.2.2 부모멘트 구간에 필요한 긴장력 산정

식 (11)의 긴장재의 응력  $f_T$ 를 긴장재의 긴장력으로 표시하기 위해 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{M_{T2}}{I_{cp}} y_{ct} = f_a - f_{DL} - RF' \cdot f_{LL}(1+i) \quad (15)$$

여기서,  $f_{LL}(1+i)$ 는 외부 활하중에 의해 발생하는 정모멘트 구간의 최대 응력이며,  $M_{T2}$ 는 정모멘트 구간에 외부 긴장재를 설치하고 긴장력을 도입하였을 때, 부모멘트 구간에 발생하는 모멘트로써, 식 (16)과 같이 표현된다.

$$M_{T2} = \left(\frac{24 b (a+0.5b) ex}{L^3}\right) T \quad (16)$$

그러므로 식 (16)을 식 (15)에 대입한 후, 긴장재의 긴장력에 대해 정리하면 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{RF' \cdot f_{LL}(1+i) - (f_a - f_{DL})}{\left(\frac{24 b (a+0.5b) ex}{n I_{cp} L^3} y_{ct}\right)} \quad (17)$$

### 3.2.3 초기 긴장력 결정

긴장력의 제한조건으로써 긴장력 도입에 의해 발생하는 경간 중앙부 콘크리트 슬래브의 인장응력은 콘크리트의 허용 휨인장응력 ( $0.07f_{ck}$ )보다 작아야하며, 이때의 응력식은 식 (18)과 같다.

$$\frac{1}{n} \left(-\frac{T}{A_{cp}} + \frac{M_{T1}}{I_{cp}} y_{ct}\right) < 0.07f_{ck} \quad (18)$$

식 (14)에 의해 구해진 정모멘트 구간에 필요한 긴장력과 식 (17)에 의해 구해진 부모멘트 구간에 필요한 긴장력 중에서 큰 값을 초기 긴장력으로 결정하고, 이 초기 긴장력  $T$ 는 식 (18)에서 구한  $T$ 보다 적어야 한다. 즉,

$$T < -\frac{n(0.07f_{ck})}{\left(\frac{24 b (a+0.5b) ex - eL^3}{I_{cp} L^3} y_{ct} - \frac{1}{A_{cp}}\right)} \quad (19)$$

이때,  $x$ 는 긴장재 도입에 의해 최대 모멘트를 발생시키는 위치로 정한다.

### 3.2.4 긴장재 개수의 결정

필요한 긴장재의 개수  $N_t$ 는 위의 과정에서 결정된 초기 긴장력  $T$ 로부터 식 (20)을 사용하여 계산할 수 있다.

$$N_t = \frac{T}{(\phi_t F_u)} \quad (20)$$

여기서,  $\phi_t$ 는 도입 긴장력의 계수로 보통 0.4~0.6을 사용하며  $F_u$ 는 긴장재의 인장하중이다. 긴장재의 개수는 편심을 고려하여 식 (20)에서 구해진 값 이상인 짝수로 정하는 것이 좋다.

긴장재의 단면적  $A_t$ 는 '긴장재 한개의 단면적×긴장재 개수'의 식으로 구할 수 있다. 긴장재 1개당 도입되는 초기 긴장력은 위의 과정에서 결정된 초기 긴장력  $T$ 로부터 정해진 긴장재 개수로 나누어 계산할 수 있다.

## 4. 보강설계 예

외부 긴장재로 보강할 대상교량에서 한개 보의 단면이 Fig. 4, Table 1과 같은 기존 교량은 설계하중 DB-18, DL-18 교량이며 DB-24, DL-24에 대해 내하율 1.2로 향상시키기 위해 본 논문에서 제시한 초기 긴장력 산정식을 이용하여 긴장재 개수와 초기 긴장력을 구하였다.

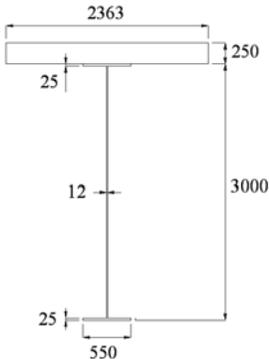


Fig. 4 외부 긴장재로 보강할 대상교량에서 한개 보의 단면 (단위 : mm)

Table 1 대상교량 제원

상부구조형식	설계하중	목표하중	경간	총길이	교량단면
3주형 2경간 연속 강합성교	DB-18 DL-18	DB-24 DL-24	50m	100m	Fig. 4

Table 2 긴장재, 콘크리트 슬래브, 보의 허용응력 (MPa)

구 분	긴장재(SWPC 7B 15.2mm)	콘크리트 슬래브	보 (SS400)
허용압축응력	-	11.8	140
허용인장응력	1,303.4	2.06	140

Table 3 긴장재의 물리적 성질

구 분	구분 기호	표준 지름 (mm)	공칭 단면적 (mm <sup>2</sup> )	인장 하중 (kN)	0.2% 영구연신율에 대한 하중(kN)
PS강연선 (7연선)	SWPC 7B	15.2	138.7	260.68	221.48

대상교량의 콘크리트 압축강도  $f_{ck} = 29.43$  MPa이고 사용된 각 재료의 허용응력은 Table 2와 같다. Fig. 4에서 사용된 단면의  $A_{cp} = 0.1451$  m<sup>2</sup>,  $I_{cp} = 0.18106$  m<sup>4</sup>,  $RF' = 1.2$ ,  $y_{sb} = 2.42$  m,  $y_{st} = 0.58$  m,  $y_{ct} = 0.83$  m,  $I_s = 0.0865$  cm<sup>4</sup>,  $A_s = 0.0629$  m<sup>2</sup>,  $y_t = y_b = 1.5$  m이고, 편심거리  $e_b = 2.5$  m로 정하였으며, 탄성 계수비  $n = 8$ 이다. 긴장재의 설치 위치는 단부지점과 내부지점으로부터 경간 중앙부 쪽으로 각각 2m 지점에 그리고 하부 플랜지 하단으로부터 8cm 아래에 직선배치 하였다. 긴장재의 물리적 성질은 Table 3에 나타내었다.

대상교량의 내하력을 향상시키기 위해 정모멘트 구간에만 외부 긴장재를 설치하는 경우, 초기 긴장력은 정·부 모멘트 각 구간에 대해 필요한 긴장력을 계산한 후 더 큰 긴장력을 초기 긴장력으로 결정한다.

정모멘트 구간에 필요한 긴장력을 계산하기 위해 활하중에 의해 최대 모멘트가 발생하는 지점 (단부지점으로부터 22.5 m)의 고정하중에 의한 하부플랜지 하연 응력은 다음과 같다.

$$f_{DL} = \frac{M_{DL}}{I_{cp}} y_{sb} = \frac{3.397}{0.0865} \times 1.5 = 58.91 \text{ MPa}$$

DL-24 활하중에 대한 하부 플랜지 하연의 최대응력은 다음과 같다.

$$f_{LL} = \frac{M_{LL}}{I_{cp}} y_{sb} = \frac{4.757}{0.18106} \times 2.42 = 63.58 \text{ MPa}$$

목표  $RF'$  은 1.2이므로 식 (14)를 사용하면 긴장력  $T = 368.99 \text{ kN}$  이다.

부모멘트 구간에 대하여 계산하면, 고정하중에 의한 콘크리트 슬래브 상부응력  $f_{DL}$  는 활하중 합성거더이므로 0 MPa이고, 활하중에 의한 콘크리트 슬래브 상부의 인장응력  $f_{LL} = 3.36 \text{ MPa}$ 이며, 목표  $RF'$  은 1.2이므로 식 (17)을 사용하면 긴장력  $T = 883.27 \text{ kN}$ 이다. 그러므로 초기 긴장력은 큰 값인 883.27 kN으로 정한다.

한편, 콘크리트 슬래브의 허용 휨인장응력 발생시키는 긴장력은 식 (19)에 의해 계산하면 1342.48 kN으로 위에서 결정된 초기 긴장력  $T = 883.27 \text{ kN} < 1342.48 \text{ kN}$ 으로 제한 조건을 만족한다.

도입 긴장력을 인장하중의 60%로 가정하면 긴장재의 개수는 식 (20)에 의해  $883.27 / (0.6 \times 260.68) = 5.65$ 이 되고, 긴장재의 개수는 5.65 이상인 짝수 6개로 정하였으며, 긴장재 한개에 도입되는 긴장력은  $883.27 / 6 = 147.21 \text{ kN}$ 으로 이것은 인장하중의 약 56%이다.

본 논문에서 제시한 방법으로 계산된 초기 긴장력 883.27 kN을 대상교량에 도입하였을 경우에 각 단면의 응력은 Table 4와 같이 Table 2의 허용응력을 만족하였다. 또한 내부지점부의 콘크리트 허용 휨인장응력에 대해서는 목표로 하였던 1.2로 계산되었으며 지간 중앙부 플랜지 하부의 내하율은 1.2보다 큰 1.6으로 나타났다.

Table 4 보강 후 단면 응력 (MPa)

구 분	지간 중앙부 (x = 22.5 m)			내부 지점부 (x = 50 m)		
	Con'c 상부	상부 플랜지	하부 플랜지	Con'c 상부	상부 플랜지	하부 플랜지
고정하중	0.00	-58.91	58.91	0.00	94.09	-94.09
긴장력	-0.25	-2.94	-17.57	-2.00	-9.76	40.73
활하중	-3.12	-15.24	63.58	3.36	16.45	-68.62
Total	-3.37	-77.09	104.92	1.36	100.78	-121.98
RF'	3.9	5.5	1.6	1.2	3.4	1.3

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존 연속 강합성 교량의 내하력 향상을 위해 내하율 산정식을 이용한 외부 긴장재의 초기 긴장력과 긴장재 개수의 결정 방법을 제시하였고, 실교량에 적용하여 합리성을 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실교량의 정모멘트 구간에 외부 긴장재를 이용하여 보강하였을 때 정모멘트와 내부 지점의 부모멘트 모두 감소 효과를 볼 수 있었다.
- 2) 초기 긴장력 결정시 더 많은 보강을 필요로 했던 내부 지점부의 내하율은 1.2로 계산되었고, 지간 중앙부는 1.6의 내하율을 갖는 것으로 나타났으며, 그 외의 구간에서도 모두 1.2 이상의 내하율을 갖는 것으로 나타났다.
- 3) 기존 연속 강합성교량의 내하력 향상을 위해 본 연구에서 제시한 초기 긴장력과 긴장재 개수의 결정 방법을 대상교량에 적용을 해본 바, 실교량의 보강 설계시 긴장재 개수와 초기 긴장력 산정에 효율적인 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연 A06-05) 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, “도로교의 내하력평가 실무매뉴얼,” 2002.
2. 박영훈, 최준혁, 박용걸, “공용중인 판형교의 강성을 고려한 외부 후 긴장 보강,” 대한토목학회, 제24권, 제 3A호, 2004, pp. 445-453.
3. 백동훈, 이우현, 김기봉, “후긴장을 이용한 연속 합성 격자형교의 보강방법에 관한 연구,” 한국강구조학회 논문집, Vol. 9, No. 3, 1997, pp. 441-455.
4. 조두용, 박대열, 박선규, “현장실험을 통한 외부 후긴장 Steel I-Beam의 휨 거동 특성,” 한국구조물진단학회, 한국구조물진단학회 논문집, Vol. 6, No. 3, 2002, pp. 151-158.
5. 최형규, 한경봉, 엄준식, 박선규, “연속화된 프리스트레

- 
- 스트 Steel H-Beam의 휨거동 특성에 대한 실험적 연구,” 한국구조물진단학회 2003년도 봄 학술발표회 논문집, 2003, pp. 271-276.
6. 한만엽, 이상욱, “외부강선 보강공법의 실패강량 분석 연구,” 대한토목학회 2004년도 정기학술대회 논문집, 2004, pp. 4766-5771.
7. Klaiber, F. W., Wipf, T. J. and Fanous, F. S., “Strengthening of Two Continuous-span Steel Stringer Bridges,” *Construction and Building Materials*, 12(2-3), 1998, pp. 151-159.
8. Saadatmanesh, H, Albrecht, P. and Ayyub, B. M., “Analytical Study of Prestressed Composite Beams,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 115 No. 9, 1989a, pp. 2364-2381.
9. Saadatmanesh, H, Albrecht, P. and Ayyub, B. M., “Experimental Study of Prestressed Composite Beams,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 115 No. 9, 1989b, pp. 2348-2363.
10. Saadatmanesh, H, Albrecht, P. and Ayyub, B. M., “Guidelines for Flexural Design of Prestressed Composite Beams,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 115 No. 11, 1989c, pp. 2944-2961.
11. Tong, W. and Saadatmanesh, H., “Parametric Study of Continuous Prestressed Composite Girders,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118 No. 1, 1992, pp. 186-206.
12. Troitsky, M. S., Zielinski, Z. A. and Nouraeyan, A., “Pre-Tensioned and Posttensioned Composite Girders,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 12, 1989, pp. 3142-3153.
13. Troitsky, M. S., “Prestressed Steel Bridges Theory and Design,” Van Nostrand Reinhold Company, USA, 1990.

(접수일자 : 2005년 10월 21일)