

외부긴장재 도입공법을 적용한 PSC거더의 내부프리스트레스 손실량 추정

Estimation of Internal Prestress Loss by External Prestressing Method on PSC Girder

용 환 선*

김 석 태**

김 윤 환***

최 현 호****

Yong, Hwan-Sun

Kim, Seok-Tae

Kim, Yoon-Hwan

Choe, Hyeon-Ho

Abstract

Due to deterioration of bridge, usually be using the external prestressing method among repair · reinforcement method. But, there is much to be desired about a detailed account, almost it has analysed by cambers of girders, deflections of middle span and upper, bottom stresses of girders. Also, it is not examined closely that effect of internal prestress by external prestressing. The purpose of this study is confirmed the effect of internal tendons by external prestressing, estimation of additional external prestressing force and look for exact external prestressing force.

Keywords : external prestressing, internal prestress, internal tendon

1. 서 론

노후교량에 대한 성능개선 방법 중 내하력 회복 및 향상을 목적으로 하는 보강방법⁽⁷⁾에서 최근 널리 사용되는 방법의 하나가 바로 외부긴장재 도입공법(External Prestressing Strengthening Method)을 이용한 보강공법이다. 그러나 이 공법에 대한 시방규정 및 보강효과에 대한 연구는 아직 미비한 단계이

며, 대부분 지간중앙부의 처짐량, 거더의 상·하연응력, 외부긴장력에 의한 거더의 솟음량으로만 거동을 평가⁽⁵⁾하고 있으며, 특히 외부긴장재에 도입되는 긴장력에 의해 기존 PSC교량의 유효프리스트레스력에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 아직까지 명확히 밝혀진 바가 없었다.

따라서 본 연구에서는 외부긴장재 도입공법을 적용한 PSC교량에 대하여 외부프리스트레싱 효과가

* 정희원, 수원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 정희원, 수원대학교 토목공학과 박사수료

*** 정희원, 수원대학교 토목공학과 박사과정

**** 정희원, (주)한국구조안전기술원

E-mail : sghshh@hanmail.net 011-480-0599

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2003년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

내부강선에 미치는 영향을 정량적으로 확인하고, 기존 내부강선의 프리스트레스 손실량의 유무에 따른 추가 도입량을 추정하여 외부긴장재 도입공법시 정확한 프리스트레스 도입력을 산정하는데 목적을 두고 있다.

본 연구에서는 PSC교량에 대한 현장계측과 대상교량의 유한요소해석 결과와의 비교를 통하여 외부긴장재에 의한 프리스트레싱 효과가 기존의 내부강선의 프리스트레스 도입력에 미치는 영향을 정량적으로 비교·평가하였다.

2. 현장 시험

2.1 개요

대상 교량인 PSC교량에 외부긴장재 도입공법의 보강효과를 검증하기 위해 현장 시험을 실시하였다. 계측항목은 외부긴장력 도입시의 긴장재에 도입되는 긴장력과 거더의 하연에 발생하는 응력을 선정하였다.

2.2 대상 교량

대상교량은 지간 L=25m의 단경간 P.S.C 교량으로서, 외부긴장재 도입공법을 이용하여 보강하면서 바닥판을 연속화^{(1),(2),(6)}시켰으며, 내측의 1개 거더를 대상으로 선정하였다.

현장시험에서 계측지점의 선정으로, 전체거더를 모

두 긴장한 후, 각각 거더의 도입되는 응력은 거의 동일하지만, 상대적으로 외측에 위치한 거더가 내측에 위치한 거더보다 도입긴장력이 크기 때문에 외측의 1번거더와 2번거더를 대상으로 수행하였다. 그러나, 실제 현장시험에서 1번거더의 계측결과에 오차가 많이 나타나서 본 연구에서는 2번거더의 계측결과를 이용하였다. 대상 교량에 대한 제원은 Table 2.1에 나타내었다.

또한, 대상교량의 일반도와 횡단면도를 Fig. 2.1에 나타내었으며, PSC거더의 단면도는 Fig. 2.2에 나타내었다.

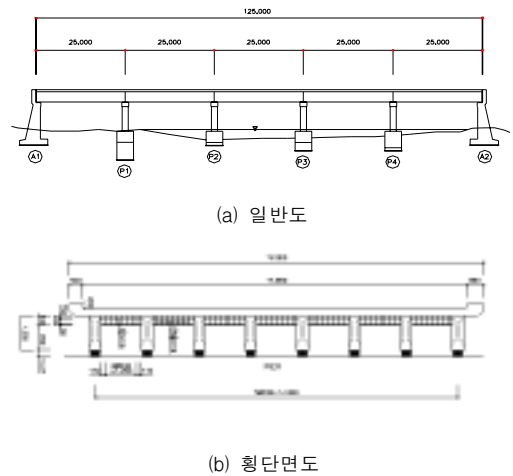
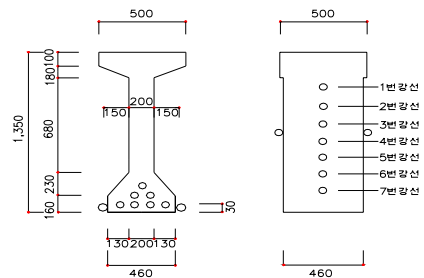


Fig. 2.1 대상교량의 일반도 및 횡단면도

Table 2.1 대상교량의 제원

구 분	내 용
교량형식	POST TENSIONING TYPE P.S.C BEAM교
지간장	25.0(m)
교폭	16.0(m)
유효폭	2.0(m)
설계하중	DB-24(1등급)
바닥판두께	30.0(cm)
설계강도	350kgf/cm ²
탄성계수	2.7 × 10 ⁵ kgf/cm ²



(a) 중앙부 (b) 지점부

Fig. 2.2 PSC거더의 단면도

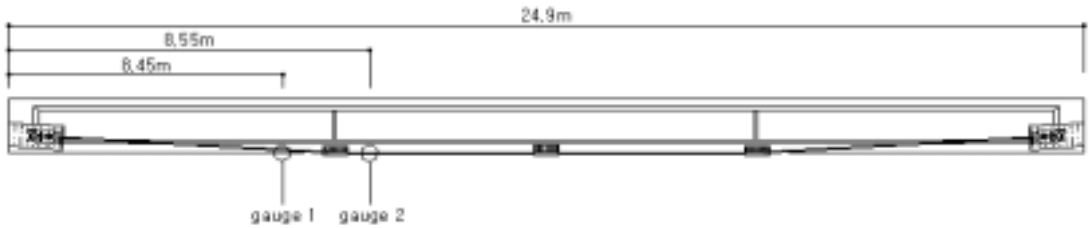


Fig. 2.3 강연선의 변형률 게이지 부착위치

2.3 현장시험 결과

2.3.1 강연선의 도입응력

외부긴장재 도입시 강연선의 도입응력을 Fig. 2.3 과 같이 PSC 거더의 새들의 전·후 위치에서 변형률 게이지를 부착하여 측정하였다.

외부긴장력 도입시 강연선에 부착한 변형률 게이지의 측정 결과를 Fig. 2.4에 나타내었다. Fig. 2.4의 결과에서 유압재의 응력증가에 따른 외부긴장재의 도입응력은 직선적으로 변화하는 것으로 나타났다.

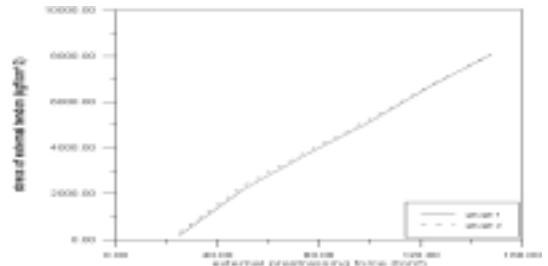


Fig. 2.4 강연선의 실측응력

2.3.2 거더의 도입응력

외부긴장재의 도입시 거더의 도입응력은 Fig. 2.5 와 같이 PSC거더의 하면에 콘크리옹 변형률 게이지를 부착하여 측정하였다. 총 8개 거더에 대하여 각각의 거더별로 외부긴장력 도입시 2번거더의 하면에 부착한 변형률 게이지의 변화양상을 Fig. 2.6에 나타내었다.

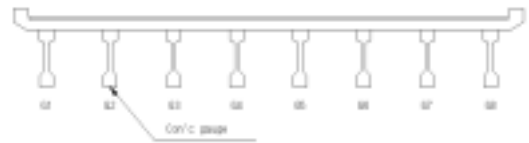


Fig. 2.5 거더의 변형률 게이지 부착위치

Fig. 2.6의 결과에서 거더의 긴장순서에 따른 대상 콘크리트 거더의 실측응력을 초기 4번 거더 인장시까지 는 직선적으로 변화하다가 5번 거더 이후에서는 응력증가 비율이 저하되는 것으로 나타났다. 따라서 대상 거더의 실측응력은 전체 거더에 대한 인장작업이 끝난 후 산정된 결과를 이용하여 해석결과와 비교하였다.

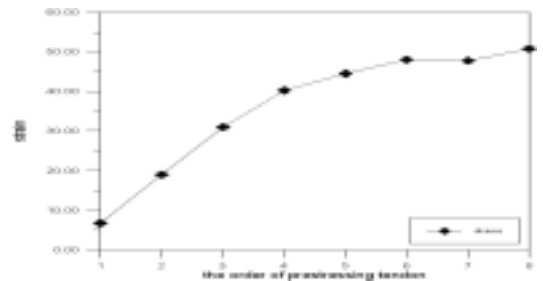


Fig. 2.6 콘크리트거더의 실측응력

3. 구조 해석

3.1 개요

대상교량에 대한 유한요소해석은 전체 거더 중 1개 만을 대상으로하여 3차원 유한요소모델을 구성하였다.

해석모델은 거더, 바닥판, 내부강선, 외부강선을 구성요소로 전체절점은 8002개이며, 사용요소 개수는 6566개이다. 주형은 지간 24.9m를 30cm 간격으로 분할하여 8절점 입체요소(Solid Element)로 구성하였으며, 요소개수는 4244개이다.

바닥판은 교축방향으로는 주형과 마찬가지로 30cm 간격으로 구분하였으며, 교축직각방향으로는 10cm 간격으로 분할한 4절점 평면요소(Shell Element)를 적용하였으며, 사용요소 개수는 2228개이다. 내부강선은 트러스요소로 요소개수는 94개이며, 거더와 일체거동을 하며, 외부강선 역시 트러스요소로 정착부와 새들의 위치에서 거더와 일체거동을 하도록 공유절점을 제어(Constraint)기법을 적용하여 모델을 구성하였다.

3.2 유한요소해석

3.2.1 유한요소해석 모델

대상교량의 내측거더 1개에 대하여 Fig. 3.1 및 Fig. 3.2와 같이 내·외부강선을 고려하였으며, Fig. 3.3에 나타난 바와 같이 3차원 입체해석 모델을 구성하였다. 해석에 사용한 프로그램은 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS를 사용하였다. 본 연구에 사용된 해석모델은 다음과 같은 가정을 바탕으로 모델을 구성하였다.

- 1) 모든 재료는 탄성 범위 내에 있으며, 균일한 성질을 갖는다.
- 2) 바닥판은 일정한 두께를 갖는다.
- 3) 거더와 바닥판은 전단면에서 합성형으로 작용한다.
- 4) 거더의 자중은 재료의 특성에 따라 생성된다.
- 5) 내부강선요소는 거더와 일체거동을 한다.
- 6) 외부강선 정착시 자중에는 영향을 미치지 않는다.

4. 해석 결과

4.1 외부프리스트레스 손실량

외부긴장재 도입공법을 이용한 보강공법에 있어서 긴장재의 손실량을 고려한 외부프리스트레스 도입력을 산정하기 위하여 도로교 설계기준(도시.6.3.4)에 따라 외부프리스트레스의 손실량을 계산하여 유한요소해석에 적용하였으며, 결과는 Fig. 4.2에 나타내었다. 또한 유한요소해석으로부터 산정된 외부긴장재의 응력값과 현장시험결과를 이용한 실측응력값과의 비교를 통하여 해석 모델의 적합성을 검증하였다.

식 4.1과 식 4.2는 외부강선의 마찰손실과 슬립손실을 나타낸다.

$$\Delta f_{bf} = f_{\pi} - \frac{f_{\pi}}{e^{(kl + \mu\alpha)}} \quad (4.1)$$

여기서 Δf_{bf} : 마찰손실량

f_{π} : 초기프리스트레스

k : PC강재의 단위m당 마찰계수

l : PC강재의 길이

μ : PC강재의 각변화1rad당 마찰계수

α : 정착각(rad)



Fig. 3.1 내부강선 배치도



Fig. 3.2 외부긴장재 배치도



Fig. 3.3 유한요소해석 모델

$$\Delta f_{ps} = \frac{E_p \times \Delta l}{l} \quad (4.2)$$

여기서 Δf_{ps} : 슬립손실량

E_p : PC강재의 탄성계수

Δl : 슬립량

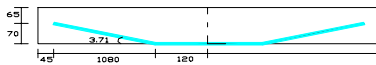
l : PC강재의 길이

4.1.1 외부프리스트레스 손실량의 변화

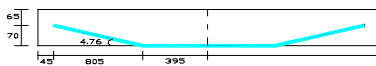
외부긴장재에 도입된 긴장력과 외부긴장재의 배치형태에 따른 외부프리스트레스의 손실량^{(3),(4)}의 변화양상을 살펴보기 위하여 Fig. 4.1과 같이 4가지 해석경우에 대하여 수행하였다.

Fig. 4.1에 나타낸 4가지 해석경우에 대하여 외부긴장재에 의한 도입 긴장력을 각각 44tonf, 50tonf, 55tonf, 65tonf, 72tonf으로 각각 변화시켜 적용하는 경우 산정된 마찰손실 및 슬립손실을 정리하여 Fig. 4.2에 나타내었다.

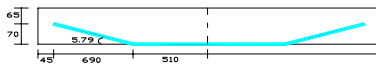
Fig. 4.2의 결과에서 마찰손실은 외부긴장재의 정착각이 커질수록 비례하여 증가하는 것으로 나타났으며, 그 값은 도입력의 약 12%~16% 정도를 차지하는 것으로 나타났다.



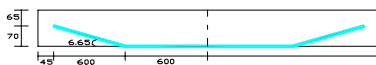
Case 1



Case 2

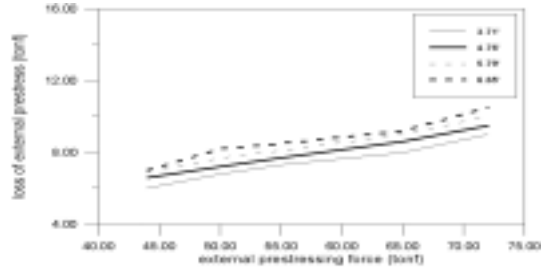


Case 3

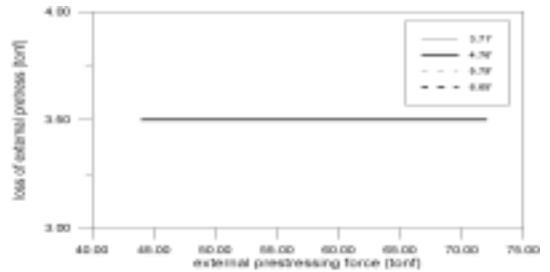


Case 4

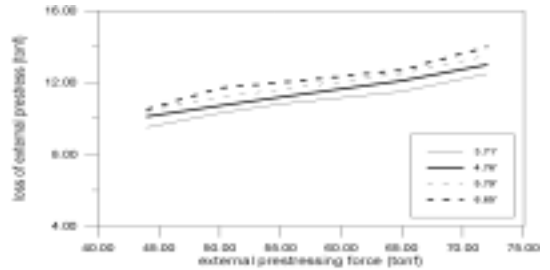
Fig. 4.1 외부긴장재 배치형태



(a) 마찰손실량



(b) slip손실량



(c) 총손실량

Fig. 4.2 외부긴장재의 배치형태에 따른 외부긴장재의 프리스트레스 손실량의 변화

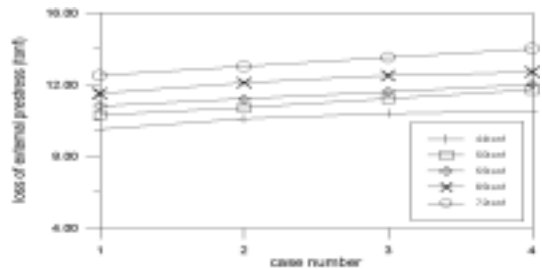


Fig. 4.3 도입긴장력의 크기에 따른 외부긴장재의 프리스트레스 손실량의 변화

반면에 slip 손실은 외부긴장재 배치형태와 도입력에 상관없이 약 3.5 tonf으로 일정함을 알 수 있었다. 도입긴장력의 크기에 따라 손실량의 변화양상을 나타내면 Fig. 4.3과 같다.

Fig. 4.3의 결과에서 알 수 있듯이 외부긴장재의 손실량은 외부긴장재의 도입긴장력의 크기에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다.

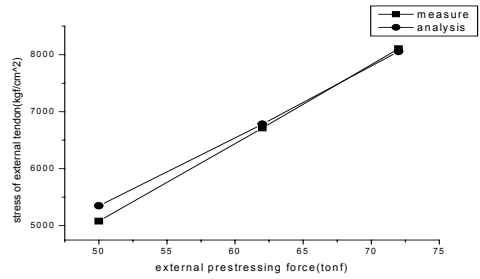
4.1.2 해석결과

정확한 외부긴장력을 도입하기 위하여 현장시험을 통한 외부긴장재의 측정응력과 유한요소해석 결과로부터 산정된 외부긴장재의 응력을 비교하였다. 현장시험은 외부프리스트레스 손실후 외부긴장재의 유효응력을 알아보기 위하여 외부긴장재의 변형을 게이지를 부착하여 긴장력 도입후 강선의 응력을 측정하였고, 유한요소해석시에도 변형을 게이지를 부착한 위치와 동일한 위치에서 외부긴장재의 유효응력을 산정하여 비교하였다.

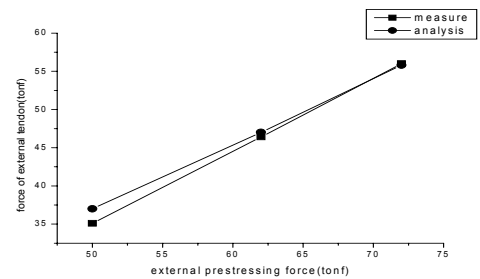
현장시험에 의한 실측응력과 유한요소해석에 의한 해석응력값의 산정결과를 Table 4.1, Fig. 4.4 및 Fig. 4.5에 비교하여 나타내었다. 실제시험에서는 외부긴장재를 72tonf까지 계속하여 인장하는 동안의 50tonf, 62tonf, 72tonf이 도입되는 순간에 계측된 응력값을 정리하였다.

Table 4. 1 실측응력값과 해석응력값의 비교

구분	도입긴장력(tonf)					
	외부긴장력 50tonf		외부긴장력 62tonf		외부긴장력 72tonf	
	Gauge 1	Gauge 2	Gauge 1	Gauge 2	Gauge 1	Gauge 2
실측응력 (kgf/cm ²)	5080	5186	6712	6748	8104	8056
해석응력 (kgf/cm ²)	5349	5366	6780	6774	8056	8030
실측긴장력 (tonf)	35.1	35.8	46.4	46.6	56.0	55.7
해석긴장력 (tonf)	37.0	37.1	47.0	46.8	55.8	55.6
실측응력/해석응력	0.95	0.97	0.99	1.00	1.01	1.00

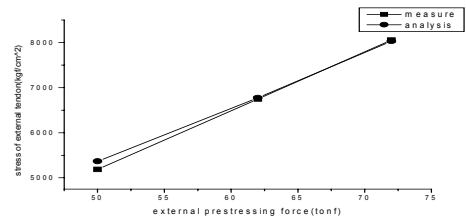


(a) 강선응력

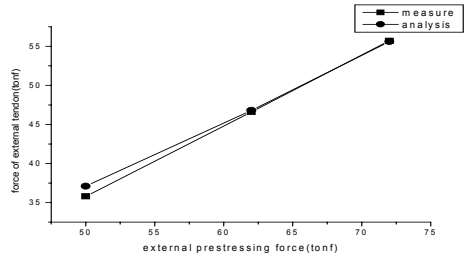


(b) 도입긴장력

Fig. 4.4 Gauge1 위치에서의 해석결과 비교



(a) 강선응력



(b) 도입긴장력

Fig. 4.5 Gauge2 위치에서의 해석결과 비교

Fig. 4.4와 Fig. 4.5의 결과에서 도입긴장력의 계측위치에서 실측응력과 해석응력의 비는 0.95~1.01 정도이며, 도입긴장력의 크기가 증가할수록 더욱 정확한 해석정도를 나타냄을 알 수 있다.

한편, 도입긴장력이 50tonf일 때 실측값이 해석값보다 약간 작게 나타난 이유는 긴장력을 도입하는 과정에서 어느 정도 이하의 도입력에서는 즉시손실이 전부 발생하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 내부강선의 프리스트레스 손실량

외부긴장재 도입시 내부강선에 발생하는 프리스트레스 손실을 구하기 위하여 외부긴장재의 배치형태와 도입긴장력의 변화에 따른 결과를 정리하였다.

4.2.1 외부긴장재의 배치형태와 도입긴장력 변화에 따른 영향

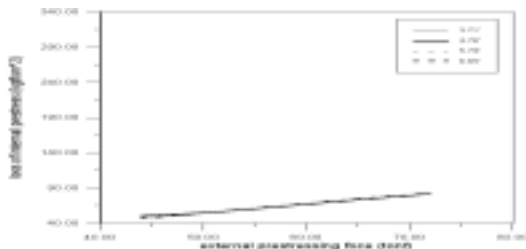
(1) 외부긴장재의 배치형태와 외부긴장력 변화와의 관계

외부긴장재의 배치형태와 외부긴장재의 도입긴장력

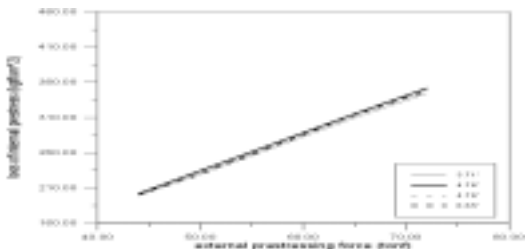
의 변화가 내부강선의 프리스트레스 손실량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 강선별로 외부긴장재의 정착각을 각각 $\theta = 3.71^\circ$, $\theta = 4.76^\circ$, $\theta = 5.79^\circ$, $\theta = 6.65^\circ$ 로 변화시키며, 각각의 경우에 대하여 외부긴장재의 도입긴장력을 44tonf, 50tonf, 55tonf, 65tonf, 72tonf 크기로 단계별로 도입하였다. 거더상단에 위치한 1번강선과 거더하단에 위치한 7번강선에서의 중앙부와 지점부에서의 내부강선의 프리스트레스 손실량을 Fig. 4.6 및 Fig. 4.7에 나타내었다.

Fig. 4.6 및 Fig. 4.7의 결과에서 내부강선의 프리스트레스 손실은 외부긴장력의 크기에 따라 거의 선형적으로 비례하는 변화를 나타내며, 지점부의 경우 외부긴장재의 정착각 θ 가 작을 때 손실이 적게 발생하였다. 또한, 중앙부의 경우 외부긴장재의 정착각 θ 의 변화에 대하여 큰 차이를 나타내지 않고 거의 비슷한 값을 나타냄을 알 수 있었다.

외부긴장재의 정착각이 $\theta = 4.76^\circ$ 인 경우에 대하여 외부긴장재의 도입긴장력 크기에 따른 각각의 7개 내부강선의 프리스트레스 손실량의 변화를 Fig. 4.8에 나타내었다.

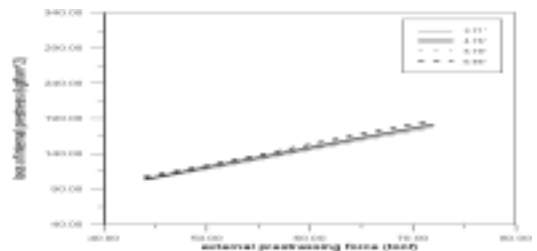


(a) 지점부

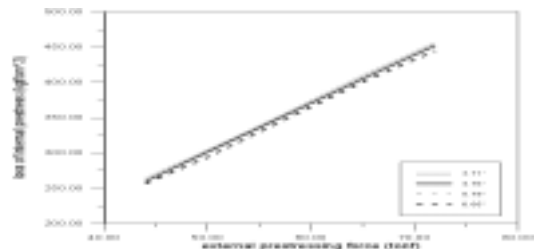


(b) 중앙부

Fig. 4.6 외부긴장재의 배치형태에 따른 내부강선의 프리스트레스 손실량(1번강선)

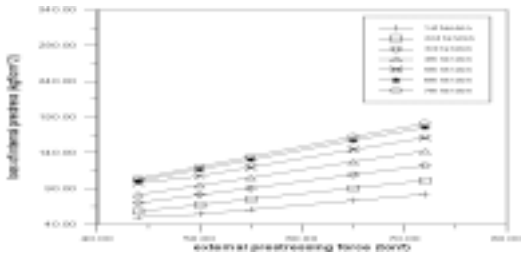


(a) 단부

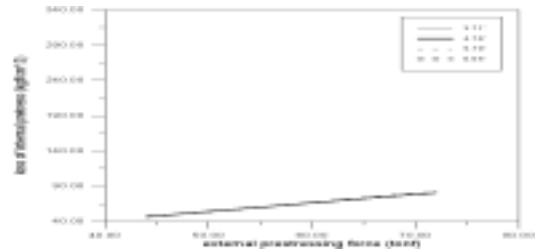


(b) 중앙부

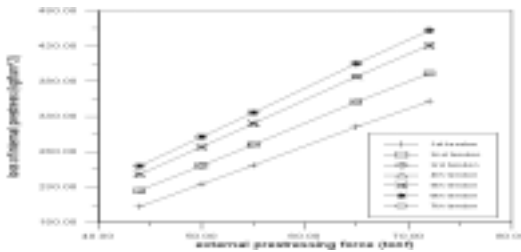
Fig. 4.7 외부긴장재의 배치형태에 따른 내부강선의 프리스트레스 손실량(7번강선)



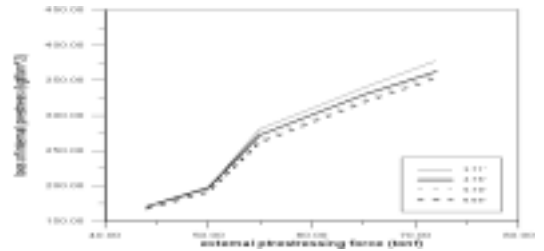
(a) 지점부



(a) 가동 지점부



(b) 중앙부



(b) 중앙부

Fig. 4.8 도입긴장력의 크기에 따른 7개 내부강선의 프리스트레스 손실량

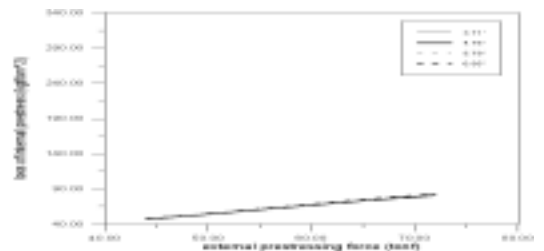
Fig. 4.8의 결과에서 모든 강선에서 도입긴장력의 크기가 증가할수록 내부강선의 프리스트레스 손실량도 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 일반적으로 거더하단에 위치한 강선의 손실량이 거더상단에 위치한 강선의 손실량보다 더 크게 나타났다. 지점부에서는 거더하단에 위치한 7번 강선의 손실량이 거더상단에 위치한 1번 강선보다 약 2배정도 크게 나타났으며, 중앙부에서는 약 1.3배정도인 크게 나타났다.

4.2.2 연속 지점부의 내부프리스트레스 손실량 변화

(1) 외부긴장재의 배치형태와 외부긴장력변화와의 관계

외부긴장재의 배치형태와 외부긴장재의 도입긴장력의 변화가 내부강선의 프리스트레스 손실량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 4.2.1절의 조건과 동일하게 적용하였다.

거더상단에 위치한 1번 강선과 거더 하단에 위치한 7번 강선에서의 중앙부와 가동 지점부에서의 내부강선의 프리스트레스 손실량을 Fig. 4.9 및 Fig. 4.10에 나타내었다.

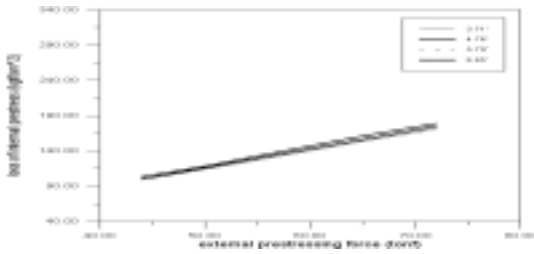


(c) 연속 지점부

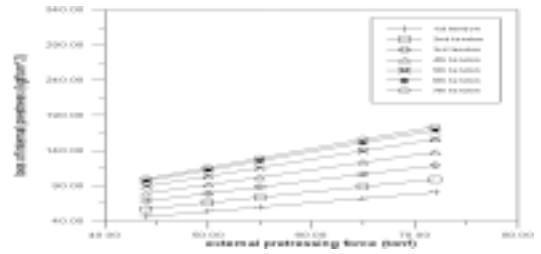
Fig. 4.9 외부긴장재의 배치형태에 따른 내부강선의 프리스트레스 손실량 (1번강선)

Fig. 4.9 및 Fig. 4.10의 결과에서 단경간일때와 연속화 구간에서도 내부강선의 프리스트레스 손실은 외부긴장력의 크기에 따라 거의 선형적으로 비례하는 변화를 나타내고 있으며, 외부긴장재의 정착각 θ 의 변화의 의한 영향은 지점부의 경우는 θ 가 클수록 내부강선의 프리스트레스 손실량이 커지며, 중앙부의 경우는 θ 가 작을수록 내부강선의 프리스트레스 손실량이 커지는 것을 알 수 있다.

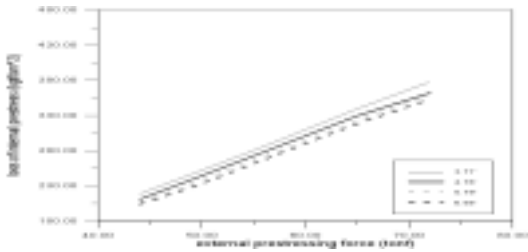
외부긴장재의 정착각이 $\theta = 4.76^\circ$ 인 경우에 대하여 외부긴장재의 도입긴장력 변화에 따른 각각의 7개 강선의 프리스트레스 손실량의 변화를 Fig. 4.11에 나타내었다.



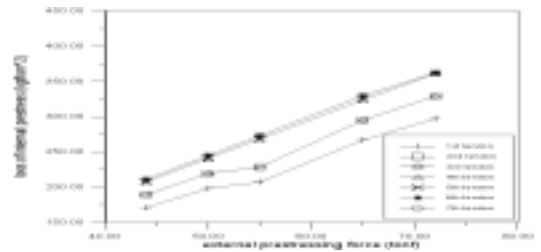
(a) 가동 지점부



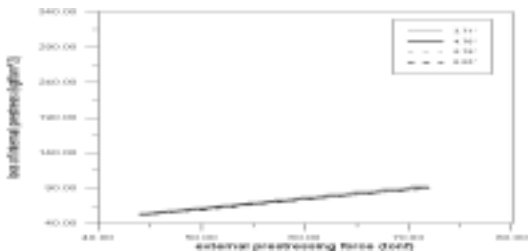
(a) 가동 지점부



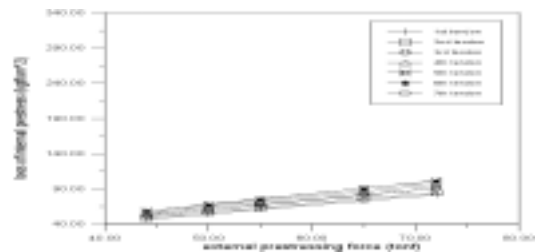
(b) 중앙부



(b) 중앙부



(c) 연속 지점부



(c) 연속 지점부

Fig. 4.10 외부긴장재의 배치형태에 따른내부강선의 프리스트레스 손실량 (7번강선)

Fig. 4.11 도입긴장력의 크기에 따른 7개 강선의 프리스트레스 손실량 (연속화 구간)

Fig. 4.11의 결과에서 모든 강선에서 도입긴장력의 크기가 증가할수록 프리스트레스 손실량도 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 일반적으로 거더하단에 위치한 강선의 손실량이 거더상단에 위치한 강선의 손실량보다 더 크며, 그 차이는 가동 지점부에서는 7번 강선의 손실량이 1번 강선의 손실량보다 약 2배 정도이며, 중앙부에서는 약 1.3배 정도인 것으로 나타났다. 연속화 지점부의 경우는 1번부터 5번 강선까지 증가하다 6, 7번은 다시 감소하는데 그 이유는 슬래브 연속화로 인한 부모멘트의 발생으로 모멘트 선도가 불연속이 되기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 거더의 응력 검토

외부긴장력 도입에 의한 거더의 하연응력을 검토함으로써 기존의 해석값과 본 연구에 사용한 유한요소 해석모델에 의한 해석결과와의 차이를 알아보기 위하여 Fig.4.1에 나타난 바와 같이 실험결과 동일한 조건인 case2에 대해서 검토하였다.

또한 내부강선의 프리스트레스의 손실 정도와 손실로 인해 보강해야할 외부긴장재의 프리스트레스력의 크기를 검토하였다.

4.3.1 외부프리스트레스 보강후의 중앙부 거더 하연응력

외부긴장재 도입시 내부강선의 프리스트레스 손실을 고려하지 않은 경우와 고려하는 경우 외부긴장력에 의한 중앙부 거더 하연의 응력을 비교한 결과를 Table 4.2에 나타내었다.

Table 4.2에서 도로교 설계기준에 의한 검토결과는 내부 긴장재의 프리스트레스의 손실을 고려하지 않은 경우이며, 유한요소해석의 결과는 외부강선의 프리스트레스 도입에 의하여 내부강선에 발생하는 응력을 고려하여, 이를 내부강선의 프리스트레스 손실량으로 해석결과에 반영하였다.

Table 4.2의 결과에서 외부프리스트레스 도입시 기존의 해석방법으로 계산한 계산응력은 내부강선의 프리스트레스의 손실을 고려할 수 없었기 때문에, 실제 긴장시 계측한 실측응력과 차이를 나타내었다. 그러나 본 연구에서 실시한 외부프리스트레스 도입시 내부강선의 프리스트레스 손실을 고려한 유한요소해석 결과는 실제 현장에서 측정된 거더의 하연응력값과 거의 일치함을 알 수 있었다.

4.3.2 내부프리스트레스 손실량에 의한 중앙부 거더 하연응력

강선별로의 단부와 중앙부에서의 손실을 평균으로 산정하여 외부긴장재의 배치형태에 따른 내부강선의 프리스트레스 손실력을 Fig. 4.12에 나타내었다.

Fig. 4.12의 결과에서 단경간의 경우 도입긴장력에 따라 0.73tonf~1.27tonf의 손실을 나타내고 있으며, 외부긴장재의 정착각 $\theta=3.71^\circ$ 일 때 손실이 가장 적게 나타났다.

또한 연속지점부의 경우 도입긴장력에 따라 0.50tonf~0.88tonf의 손실을 나타내고 있으며, 외부긴장재의 정착 각도 θ 의 변화에 따라서는 그 차가 매우 작아서 θ 의 변화가 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4.12에서 내부강선의 프리스트레스 손실력을 이용하여 계산된 거더의 하연응력을 Fig. 4.13에 나타내었다.

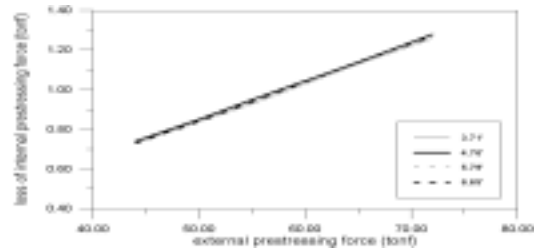
Table 4.2 중앙부 거더 하연응력 검토

(1) 단경간의 경우

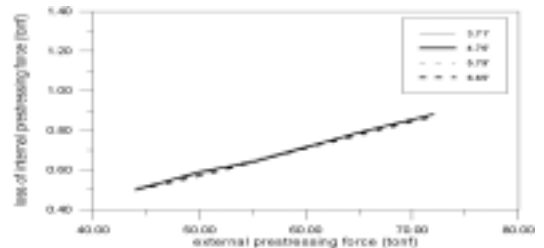
구 분	하연응력 (kgf/cm ²)	비고
도로교 설계기준	68.29 (압축력)	외부프리스트레스 72tonf
유한요소 해석	63.29 (압축력)	

(2) 연속 지점부

구 분	하연응력 (kgf/cm ²)	비고
도로교 설계기준	54.78 (압축력)	외부프리스트레스 72tonf
유한요소 해석	51.26 (압축력)	
실측응력	50.79 (압축력)	

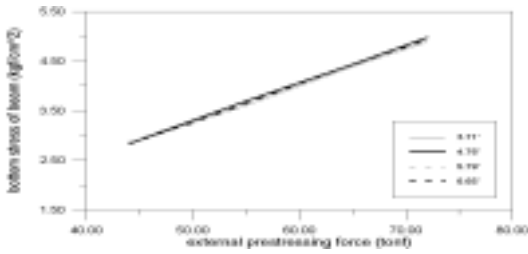


(a) 단경간

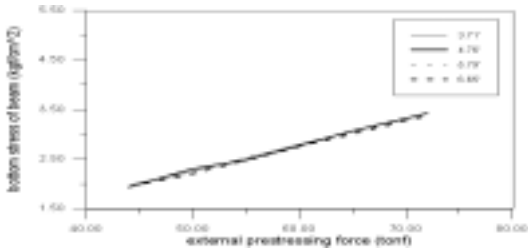


(b) 연속 지점부

Fig. 4.12 외부프리스트레스 도입시 내부프리스트레스 손실력



(a) 단경간



(b) 연속 지점부

Fig. 4.13 내부프리스트레스 손실력에 의한 거더 하연응력

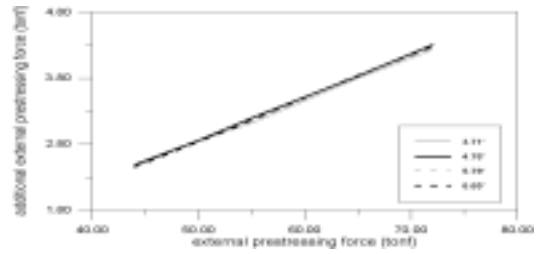
Fig. 4.13의 결과에서 단경간의 경우 도입긴장력에 따라 $2.83\text{kg/cm}^2 \sim 4.97\text{kg/cm}^2$ 의 손실을 나타내고 있으며, 외부긴장재의 정착각 $\theta = 3.71^\circ$ 일 때 손실이 가장 적게 나타났다.

또한, 연속 지점부의 경우 도입력에 따라 $1.94\text{kg/cm}^2 \sim 3.42\text{kg/cm}^2$ 의 손실을 나타내고 있으며, θ 의 변화에 대해서는 그 차가 매우 작아서 θ 의 변화가 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

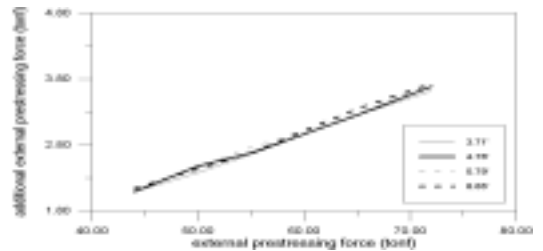
4.4 외부프리스트레스 보정량 산정

외부프리스트레스 도입시 발생하는 내부강선의 프리스트레스 손실량을 고려하여 목표 내하력을 확보하기 위하여 추가적인 외부프리스트레스 도입량을 산정한 결과를 Fig. 4.14에 나타내었다.

Fig. 4.14의 결과에서 외부긴장재 긴장시 내부강선의 프리스트레스의 손실을 고려하여, 단경간의 경우 도입력의 5.5% ~ 5.93%를 추가로 긴장해야 하고, 연속 지점부의 경우는 도입력의 4.64% ~ 5.18%를 추가로 긴장해야 설계시 목표로 했던 내하력을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.



(a) 단경간



(b) 연속 지점부

Fig. 4.14 외부프리스트레스 보정량

5. 결론

본 연구에서는 외부긴장재를 도입한 보강공법을 적용하여 보강한 PSC거더교에 대한 내부강선의 프리스트레스 손실량을 구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 외부긴장재를 도입한 보강공법의 적용시 기존의 내부프리스트레스의 유효량은 내부프리스트레스 손실에 영향을 미치지 않고, 외부긴장재의 변화 (배치 형태, 도입긴장력 등)에 의해서만 영향을 받는다.
- 2) 일반적으로 외부긴장에 의한 내부강선의 손실량은 거더하단에 위치한 강선일수록 크게 나타나며, 연속 지점부일때가 단경간 일때보다 손실량이 적음을 알 수 있다.
- 3) 외부긴장재의 정착 각도 θ 의 변화에 따라 내부프리스트레스 손실량의 차이는 크지 않으나, 외부긴장력 도입시 θ 가 작을수록 유효긴장력이 더 크게 나타남을 알 수 있다.
- 4) 본 수치해석의 경우 장기거동을 고려하지 않은 단기거동에 대해서 외부긴장재에 의한 긴장력 도입에 의해 기존의 유효 내부프리스트레스의 손실이

단경간의 경우 최대 6.4% 정도의 손실이 발생하고, 연속 지점부의 경우 최대 5.3% 정도의 손실이 발생한다. 따라서 외부긴장재 도입시 단경간의 경우 긴장도입력의 5.5% ~ 5.93% 정도를 추가로 긴장해야 하며, 연속 지점부의 경우 긴장도입력의 4.64% ~ 5.18% 정도를 추가로 긴장해야 설계시 목표로 했던 내하력을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

위의 결론들을 통해 현재 널리 사용되고 있는 외부 긴장재 도입공법의 보강효과를 좀더 명확히 알 수 있었다. 수치해석을 통해 기존의 해석 방법에서는 알 수 없었던 외부프리스트레싱에 의한 내부프리스트레스의 손실정도를 구할 수 있었으며, 앞으로 외부프리스트레싱 보강공법을 이용할 때, 내부프리스트레스의 손실정도를 고려하여야 보강설계시 목표로 했던 내하력을 확보할 수 있을것이다.

참고문헌

1. 곽호경, 서영재, 정찬욱, 박영하, "PSC Beam 교량의 연속화에 따른 거동해석(2)" 한국콘크리트학회 논문집, pp.21~31, 제11권 5호, 1999.
2. 박승범, "외부긴장재와 연속화에 의한 프리스트레스 콘크리트 거더 교의 성능평가", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.681~684, 1999.
3. 오병완, 유성원, "외부 비부착 강선을 가진 부재의 극한 강선 응력 평가" 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp.381~386, 1999.
4. 조병완, 이재형, 태기호, "프리스트레스 콘크리트 구조물의 마찰손실을 고려한 긴장재 산정에 관한 연구." 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp.645~650, 2000.
5. 김광수, 박선규, 김형열, "PSC보 교량의 유한요소 모델링 방법에 관한 연구" 한국콘크리트학회 논문집 pp.33~40, 제 11권 5호, 1999.
6. 곽호경, 서영재, 정찬욱, 박영하, "PSC Beam 교량의 연속화에 따른 거동해석(1)" 한국콘크리트학회 논문집, pp.11~20, 제11권 5호, 1999.
7. P.H.Enmons, "Concrete Repair and Maintenance Illustrated" Means Company, pp.219~226, 1994.

(접수일자 : 2002년 9월 23일)