

PSC교량 보강시 긴장력 도입순서의 영향에 관한 연구

방 명 석

충주대학교 안전공학과

(2001. 8. 3. 접수 / 2001. 11. 30. 채택)

A Study on Effect of Pre-Stressing Sequences in PSC Bridge Strengthening Method Using Continuity with External Prestressing

Myung-Seok Bang

Department of Safety Engineering, Chungju National University

(Received August 3, 2001 / Accepted November 30, 2001)

Abstract : Numerous PSC bridges are strengthened by the combined use of continuity of simple spans and addition of external prestressing. In this case prestressing sequences should be carefully checked due to the effect on the stress and camber of girders and slab. Various prestressing sequences were applied in this field test and measured values were analysed. This results show that preatressing sequences affect the stress and deflection of bridge members, so the prestressing sequence should be considered at the design and construction stages of deteriorated bridges.

Key Words : prestressing sequence, strengthening method, external prestressing, continuity, PSC bridge

1. 서 론

최근에 교량의 안전에 대한 관심이 증대되면서 교량의 내하력을 평가한 자료^{1,2)}에 따르면, 대부분의 교량이 과대한 차량하중과 콘크리트의 성능저하로 내하력이 저하된 경우가 많다. 노후화되거나 내하력이 부족한 교량에 대한 보강공법으로는 강판이나 탄소섬유 혹은 FRP(Fiber Reinforced Plastic) 등을 접착하는 공법과, 보 또는 기둥을 증설하는 공법, 단면을 증대시키는 공법, 외부긴장재를 설치하여 긴장력을 도입하는 공법³⁾ 등이 적용되고 있다. 이러한 보강공법들의 대부분이 부분적으로 부재의 내하력을 증가시키는 방법인 반면에, 외부프리스트레스 도입공법은 기존 구조물의 부재력을 향상시켜 구조물 전체를 보강하는 공법이라 할 수 있다.^{4~11)} 최근에는 PSC교량의 내하력을 향상시키기 위하여 단순거더형식의 기존교량을 연속화하고 여기에다가 외부긴장재를 추가하여 내하력을 크게 향상시키는 공법이 개발되어 적용되고 있다. 그러나 이 방법은 정확

한 구조적 분석이나 연구없이 직관에 의하여 시공되고 있어서 보강효과가 감소하거나 경제적 낭비의 요인이 되고 있다. 본 연구에서는 단순경간의 연속구조화와 외부긴장재를 추가설치하여 긴장력을 도입하는 방법을 결합하여 사용하는 PSC(Pre-Stress Concrete)교량 보강공법을 적용하는 경우에 발생하는 문제점을 연구하였다. 이 공법의 적용시 단순교의 연속화에 따라서 추가긴장재의 적합한 긴장순서 및 긴장방법에 대하여 현장시험을 통하여 비교분석하였다.

2. 대상교량

2.1. 개요

시험대상 교량은 충남 예산에 소재한 국도 32호 선 상의 상하 왕복 2차선, 총연장 275m인 1974년에 준공된 교량이다. 상부구조형식은 PSC I형 거더이고, T형교각, 반중력식 교대, 우물통 기초로 구성되어 있다. 2중 시설물로서 상부슬라브 및 주형이 노후화되어 균열, 철근부식, 누수 등 외관 상태가 불량하나 장래 4차선 도로확장계획이 수립되어 있는

구간이므로 개축대신 상부구조를 보강하게 되었다. 하지만 현재 통행되는 차량의 총중량이 본 대상교량의 설계하중인 총중량(32.4tonf)을 상회하는 것으로 나타나고 있으며, 서해안으로 통행하는 많은 교통량을 감안하여 보강이 실시된 교량이다.

2.2. 제 원

본 연구 대상교량의 횡단면, 외부 케이블의 배치도는 Fig. 1, 2와 같다.

PSC 거더의 콘크리트강도는 350 kgf/cm²이고, 슬라브 콘크리트의 강도는 270kgf/cm²이다. 본 교량은 1974년도에 준공된 교량으로서 1970년대에는 강연선을 사용하지 않고 강선을 사용하였다.¹²⁾ 기존에 배치되어 있는 내부 강선과, 보강을 위하여 추가 설치된 외부 강재는 Table 1, 2와 같다.

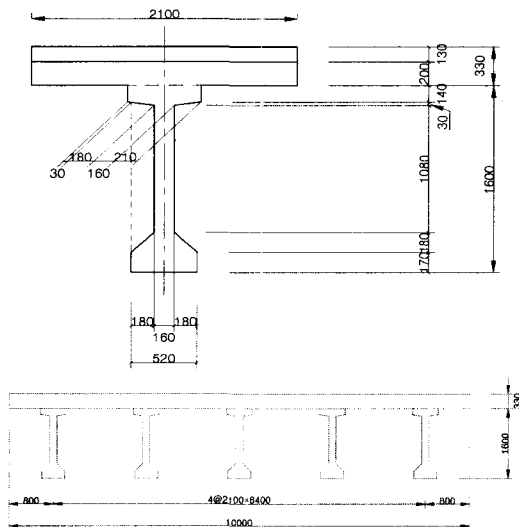


Fig. 1. Sections of testing bridge and girders

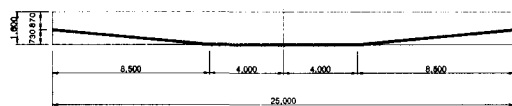


Fig. 2. Profile of external tendons

Table 1. Material property of internal tendons

Tendon	Type	Area (mm ²)	Jacking force (kgf)	0.2% strain yielding force (kgf)
PS wire	SWPC 1, 7mm	38.48	5950	5200

Table 2. Material property of external tendons

Tendon	Type	Area (mm ²)	Jacking force (kgf)	0.2% strain yielding force (kgf)
PS strand	SWPC 7B, 7wire 12.7mm	98.71	18,700	15,900

3. 구조연속화와 외부프리스트레스 보강 및 시험

3.1. 단순거더의 연속구조화

현재 시공되어 있는 대부분의 PSC 거더교의 구조형식은 단순거더교이다. 그러나 이러한 형태의 구조는 중앙부의 정모멘트나 처짐량이 매우 크므로, 설계하중이 DB-18인 교량을 DB-24로 성능을 향상시키기 위해서는 부재차원의 보강으로는 한계가 있다. 따라서 교량의 연속구조화를 고려하는 것이 정모멘트의 감소 및 처짐의 저감에 효과적인 방법이다.¹³⁾ 본 연구의 대상교량은 11경간이 단순보로 이루어져 있으므로, 4경간-4경간-3경간으로 연속화를 실시하였다. 교량을 연속화시킬 경우에 내부지점부에 부모멘트가 발생하므로, 바닥판의 상부에 보강철근을 배근하여 연속보가 되도록 하고, 연속화된 거더 사이에는 무근콘크리트를 충전하여 합성후의 압축력을 지지할 수 있도록 하였다.

3.2. 보강용 외부프리스트레스 긴장재 설치

현재 사용되고 있는 긴장재 정착방법은 전단지지방식, 지압지지방식, 마찰지지방식 등으로 구분할 수 있다. 본 연구에 적용된 정착방법은 지압지지방식으로 Fig. 3과 같다. T자형 강재자켓을 제작하여 거더의 단부에 설치함으로써 외부프리스트레스힘을

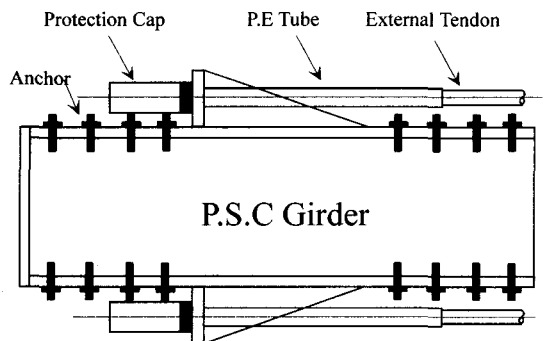


Fig. 3. Anchor jsket at end beam

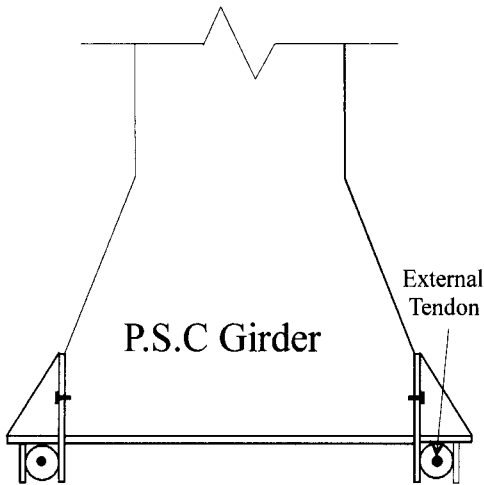


Fig. 4. Internal saddle

psc거더의 단부면에서 구조물에 전달시키는 방식이다. 이 공법에 사용되는 방향변환부(Saddle)의 형태는 Fig. 4와 같다.

3.3. 부재의 응력분배를 고려하는 외부긴장력 도입방법

Fig. 5는 현장에서 긴장하는 순서로서 작업성을 우선하여 주형의 순서대로 한쪽방향 (G1→G2→G3→G4→G5)으로 긴장하고 있는 방법이다. 또한 각 거더에 도입되는 외부인장력도 한번에 모두 도입하고 있다.

그러나 거더교의 보강시에 외부긴장력을 도입하는 경우는 시공시와는 달리 긴장시 바닥판의 솟음에 의한 손상 등을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 고려하기 위하여 거더의 긴장순서의 영향과 긴장력의 단계적 도입에 대하여 시험하였다. 긴장순서는 크게 두가지를 고려하였다. 즉, 한 경간내에서 거더들의 긴장순서와, 4경간 연속화된 경우에 경간별 긴장순서이다. 이 두가지 긴장방법

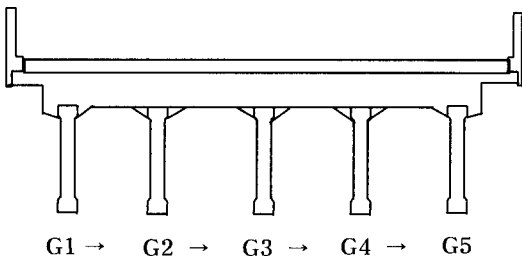


Fig. 5. Prestressing sequence of girder

Table 3. Sequence and number of prestressing force

No. & seq.	One		Two				Three				
	①		②		①		②		③		
	순서	%	순서	%	순서	%	순서	%	순서	%	
G5	4	4	50	8	50	4	30	6	30	12	40
G4	2	2	50	6	50	2	30	.	.	9	70
G3	1	1	50	9	50	1	30	8	30	11	40
G2	5	5	100	.	.	5	60	.	.	13	40
G1	3	3	50	7	50	3	30	7	30	10	40

의 조합에 따라서 거더와 바닥판에 미치는 영향을 측정하였다. 시공의 편리를 위하여 시점에서 종점으로 진행되는 현재 방법과 응력의 분배가 균등하게 이루어지도록 중앙거더와 경간부터 긴장하여 긴장력이 좌우로 평형을 이루도록 외측으로 교차순으로 실시하는 방법을 시도하였다. 한편 거더당 도입되는 긴장력은 매우 크기 때문에 한번에 모두 도입하면 바닥판에 국부적으로 상당히 큰 응력이 발생하여 보강하려는 기존의 구조물에 손상을 줄 우려가 있다. 또한 초기에 도입되는 긴장력과 모든 거더를 긴장하고 난 후에 거더별로 긴장력이 일정하게 되지 않을 수 있기 때문에 도입력을 단계별로 나누어 도입하는 방법을 시도하였다. 보강대상교량에 대한 외부긴장력을 3단계로 나누어 도입하는 긴장순서도는 Table 3과 같다.

4. 측정 결과

4.1. 프리스트레스 도입시 솟음량

Table 4와 Fig. 6은 단순교를 4경간 연속교로 보강한 대상교량의 외부긴장력 도입에 의한 솟음량을 측정한 결과이다. 4경간 연속구조물의 2번째 경간의 솟음량을 측정하였으며, 하중은 2단계로 나누어 도입하였다. 처음에는 총도입량의 64%인 300kgf/cm²

Table 4. Camber at midspan of 4 span bridge

Seq.	Camber(mm)								
	G3	G2	G5	G1	G4	G2	G1	G5	G3
G1	0.200	0.760	0.715	2.140	2.135	2.795	3.870	3.895	4.395
G2	0.480	1.065	1.150	1.805	2.350	3.050	3.600	3.710	4.395
G3	0.660	1.060	1.345	1.570	2.600	3.120	3.345	3.635	4.425
G4	0.485	0.685	1.290	1.285	2.655	2.910	3.035	3.700	4.260
G5	0.170	0.185	1.225	1.105	2.460	2.55	2.530	3.690	3.960

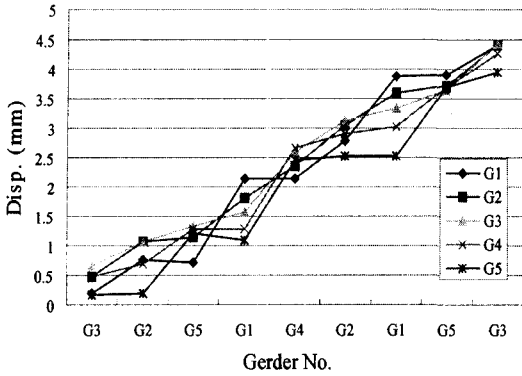


Fig. 6. Camber at each girder

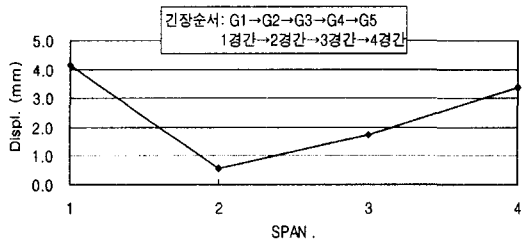


Fig. 7. Final camber at each girder

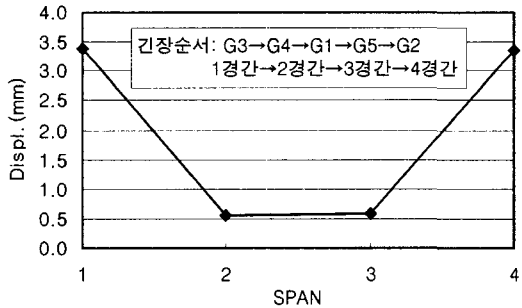


Fig. 8. Camber at each girder in this study

시킨 경우의 최종 솟음량은 Fig. 8과 같이 연속교의 좌우 대칭 형태를 나타내고 있다.

4.2. 프리스트레스 도입시 응력변화

현장에서 시공성을 중시하여 긴장한 경우의 각 경간의 거더 하면의 응력을 나타내면 다음 Fig. 9와 같다. Fig. 9에서 PR 1은 1경간만을 긴장, PR 1, 2는 1, 2경간을 긴장, PR 1, 2, 3은 1, 2, 3경간을 긴장, PR 1, 2, 3, 4는 4경간 모두를 긴장한 경우를 나타낸다.

중앙거더(G3)부터 긴장한 경우 거더하면의 응력은 Fig. 10과 같다. 연속화된 교량에 외부 프리스트레스를 도입시 Fig. 9, 10에서 각 경간의 거더응력차

Table 5. Stress at internal support of each span

Internal Sup.	Support 1		Support 2		Support 3	
	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom
2 span	-3.5	11.7	-3.9	12.9	1.0	-3.4
3 span	1.0	3.4	3.9	13.1	-3.5	11.8
1 span	-4.9	16.3	1.4	-4.6	-0.4	1.2
4 span	-0.4	1.2	1.4	-4.6	-4.9	16.5
Sum	-7.8	32.6	2.8	16.8	-7.8	26.1

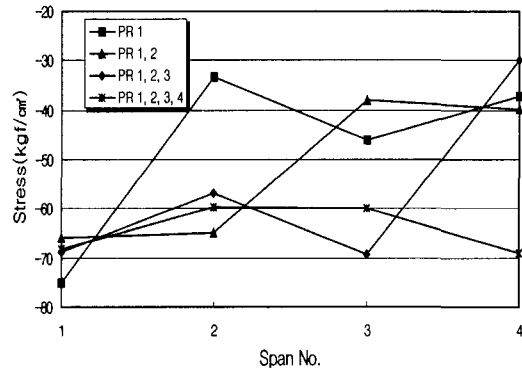


Fig. 9. Stress at bottom fiber in G1→G2→G3→G4→G5

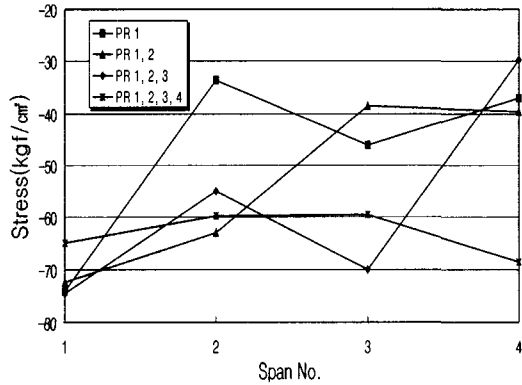


Fig. 10. Stress at bottom in G3→G4→G1→G5→G2

이가 많이 나타나지 않은 이유는 상부 바닥판을 연속화시켜 응력의 재분배가 발생하였기 때문으로 판단된다. 내부지점의 응력변화를 각 경간의 긴장순서에 따라 나타내면 다음 Table 5와 같다.

5. 결론

- 1) 현장의 시공성 만을 고려하여 거더와 경간의

긴장순서를 순차적으로 실시하는 기존의 방법과, 거더와 바닥판의 응력의 분배를 고려한 적합한 긴장순서를 실시하여 각 거더의 솟음량과 응력을 비교하였다. 거더와 경간의 긴장순서에 따라서 각 거더와 경간의 응력과 솟음량은 비대칭과 대칭의 형태로 다르게 나타났다.

2) 긴장순서에 따라 솟음량 및 바닥판과 내부지점의 응력분배의 차이는 기존의 단순순차방법으로 긴장하는 경우에 바닥판에 손상을 줄 수도 있고 보강효과가 적게 나타날 수도 있음을 의미하는 것이다. 특히 단순교를 연속화시키는 보강공사의 경우에는 응력 및 처짐의 거동에 크게 영향을 미치므로, 충분한 구조검토와 해석을 통해 긴장순서 및 도입하중을 고려해야 한다.

3) 2경간과 3경간의 응력이 1경간과 4경간에 비해 작은 응력을 나타내고 있어, 동일한 보강효과를 얻기 위해서는 2, 3경간의 긴장력 도입을 1, 4경간에 비해 크게 긴장해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 안양시, “안양대교안전진단보고서,” 1995. 5.
- 2) 서울특별시 건설안전관리본부, “문래고가차도 정밀안전진단 보고서,” 1997. 10.
- 3) 건설교통부, “교량구조물의 보수·보강 공법편람,” 1995. 5.
- 4) 방명석 외, “PS콘크리트 橋梁의 設計에 關한 研究” 한국건설기술 연구원, 1992.
- 5) Ketchum M. A., “Redistribution of Stresses in Segmentally Erected Prestressed Concrete Bridges,” UCB /SESM Report No. 86-07, 1986. 5.
- 6) Eibl J., “Externally Prestressed Bridges,” External Prestressing in Bridges, pp. 375~389, 1990.
- 7) Nagele J. M., Das S. C., and Bakeer R. M., “Computer Evaluation of the Effect of Prestressing,” External Prestressing in Bridges, pp. 409~424, 1990.
- 8) 杉江 功, 下村幸徳, “PC 블록T桁橋의 補修·補強,” 橋梁と基礎, pp. 75~78, 1994. 8
- 9) 佐野正, 村上忠彦, 丸山久一, “外ケーブルによるPC桁の補強效果に關する實驗的研究,” 콘크리트工學年次報告集, Vol. 15, No. 2, pp. 807~812, 1993.
- 10) 見波 梁, 上阪康雄, “暮坪陸橋の鹽害損傷とその對策,” 土木施工 35卷 7号, 施工研究, pp. 8~19, 1994. 6.
- 11) 井澤 亮, 岡島 武博, 石栗 利宏, 平辻 千晴, “外ケーブル橋へのアプローチ,” プレストレストコンクリート, Vol. 37, No. 3, pp. 57~59, May, 1995.
- 12) 건설교통부, “도로교 표준도,” 1974.
- 13) Demetrios E. Tonia, P. E. “Bridge Engineering,” McGraw-Hill, Inc., pp. 216~259. 1995.