

8경간 연속화 프리스트레스 거더교의 시공 계측 및 분석 -서울교 확장교량 적용

Construction Sequence Measurement & Analysis for Continuous 8-span Prestressed Concrete(PSC) Girder Bridge

조성웅^{*} 이원표^{**} 임현태^{***}
Cho, Seong Woong Lee, Won Pyo Lim, Hyun Tai

ABSTRACT

The widened Seoul-Bridge is the first continuous 8-span prestressed concrete(PSC) girder bridge in domain. The construction sequence of the bridge consists of 5 steps in a large way. The measuring in construction stage includes the determination of the allowable fluctuation value of beam stress in each step and the measurement beam stress during prestressing.

The measured tendon prestress force was compared with the design value. When it was compared with the analytic result, the difference between the measured stress and the analytic stress was below allowable error. The friction loss and the anchorage slip loss of the tendon prestress force was lower than the design loss value.

1. 서론

서울교는 여의도와 영등포를 잇는 교량으로써 경간길이 30m의 8경간 프리스트레스 단순 거더교이다. 서울교 확장교량은 국내에서는 처음으로 시도되는 신공법(8경간 PSC Beam 연속교)으로 I-beam을 1경간씩 Precast로 미리 제작 거치하고 강선을 이용하여 8경간을 연속화 하였다.

서울교 확장교량은 총 4개의 강선이 배치되며 그 중 1&2번 강선은 제작장에서 긴장되어 거치시 자중 및 작업하중을 지지하도록 설계되었다. 한편 현장타설 콘크리트 바닥판 및 아스콘 포장등에 의한 2차사하중 그리고 활하중에 대해서는 3&4번 강선에 의해 연속화된 구조계가 저항하도록 하였다. 그림 1은 3&4번 강선의 배치도이다.

단경간 PSC I-Beam을 교각위에 거치한 후 연속화를 위한 시공이음부를 통해 3&4번 강선이 긴장되며, 3번강선은 합성전 단면을, 4번강선은 합성 후 단면을 대상으로 하여 각각 프리스트레스를 도입한다. 그

* 정회원, 현대건설(주) 서울교 확장공사 현장소장

** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 책임 연구원

*** 정회원, 현대건설(주) 기술연구소 연구원

림 2는 확장교량의 가설순서 개요를 나타내었다. 교량의 가설 순서는 크게 5단계로 나누어지고, 각 단계별 시공순서는 빔의 합성을 위한 시공 이음부 콘크리트 타설, 연속강선의 긴장작업, 현장타설 바닥판 콘크리트 타설로 구분된다.

PSC I-Beam의 연속화 시공시 Slab와 Joint를 현장 타설하므로 불가분 재량차이로 인해 크리프, 건조수축에 의한 부정정력이 발생하며, 또한 연속화에 의한 2차 모멘트가 발생하게 된다. 서울교 확장교량 시공중 계측은 각 가설 단계별로 빔의 응력변화에 대한 계측관리값을 산정하고, 강선긴장에 따른 빔의 응력변화를 측정하여 강선의 긴장력 도입량의 배분 및 PSC I-Beam의 연속화 시공성을 검토하는 것을 주된 목적으로 하였다. 또한 강선 정착부에 하중계를 설치하여 시공시 도입되는 강선긴장력을 측정하였으며 설계시 산정한 긴장력과 비교 검토하였다.

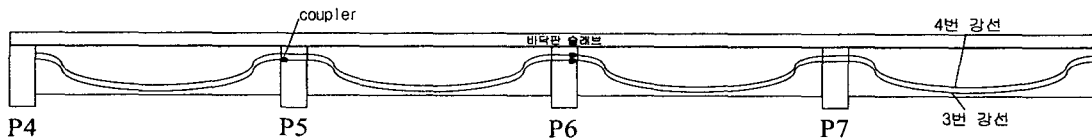


그림 1 3번 및 4번 강선 배치도

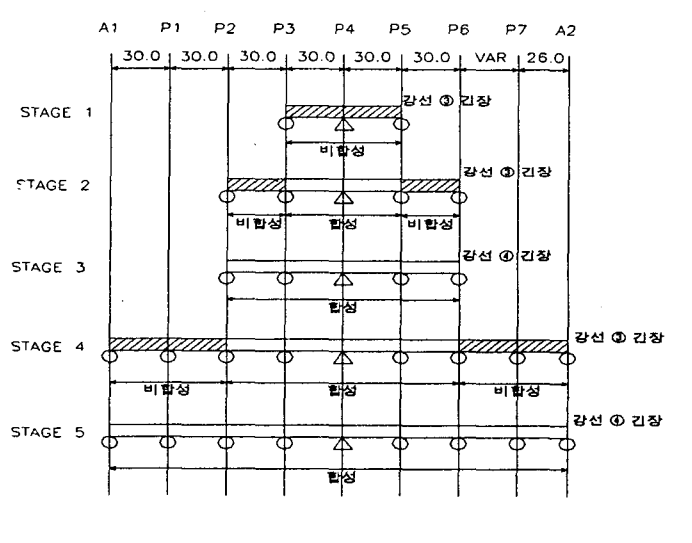


그림 2 시공순서 개요도

2. 시공순서

서울교 확장교량은 구교와 마찬가지로 8경간교이며, 8경간 각각의 빔은 제작장에서 제작되어 크레인에 의해 거치된다. 빔에는 총4개의 강선이 배치되며 그중 1번과 2번 강선은 교각에 거치되는 동안 발생하는 자중 및 작업하중을 지지하게 된다. 한편, 현장타설 콘크리트 바닥판 및 2차사하중 그리고 활하중은 연속화된 구조계가 지지하게 된다.

서울교확장교량의 시공순서는 총 8개의 경간중 중앙경간인 4번과 5번 경간의 빔을 거치한후 2경간을 연속화 시키고 양쪽으로 확장하여 4경간을 연속화시키며, 마지막으로 8경간을 연속화시키는 과정으로 이루어진다. 교량의 가설은 크게 5단계로 나누어지고, 각각의 단계에서 빔을 거치한후 빔의 합성을 위한 시공이음부 현장타설, 연속강선의 긴장작업, 현장타설 바닥판 콘크리트 타설로 구분된다.

3. 단계별 응력 검토

연속화 강선 긴장에 따른 빔의 응력 변형량을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 빔의 중앙경간과 시공이음부에 설치하였다. 빔제작시 변형률 게이지를 빔 하단 보강철근에 설치하였으며, 연속화 시공이음부는 상부 보강철근에 설치하였다. 강선긴장시 긴장력에 직접적 하중이 지배적인 빔의 경우 중앙경간은 부모멘트가 발생하고 시공이음부는 정모멘트가 발생하게 된다. 그러므로 변형률 게이지가 설치된 위치에서는 모두 압축응력을 받게 되지만, 연속화로 인한 2차모멘트의 하중을 지배적으로 받는 빔의 경우는 게이

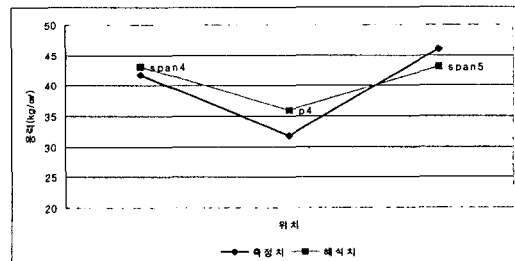


그림 3 2경간 3번강선 긴장(STAGE 1)

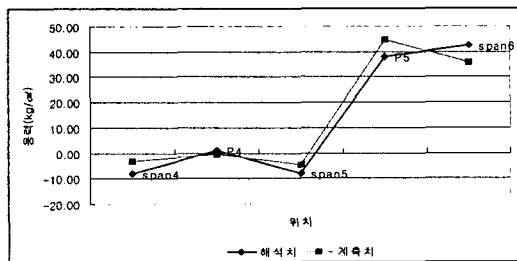


그림 4 4경간 3번강선 긴장(STAGE 2)

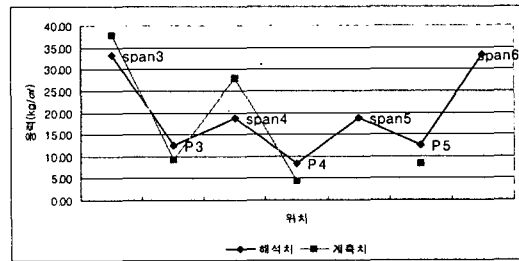


그림 5 4경간 4번강선 긴장(STAGE 3)

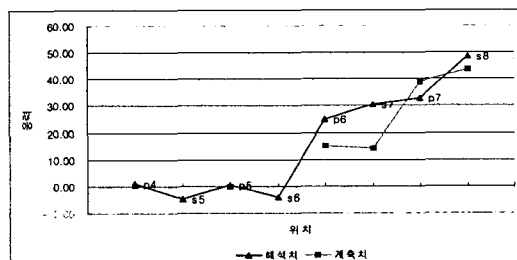


그림 6 8경간 3번강선 긴장(STAGE 4)

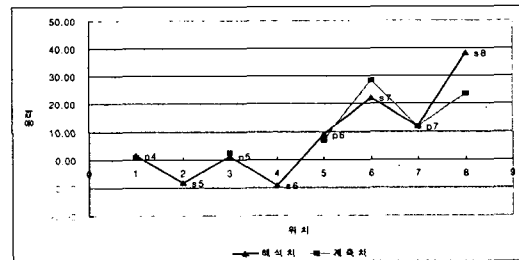


그림 7 8경간 4번강선 긴장(STAGE 5)

지 설치위치에서 인장응력이 발생한다. 이러한 2차모멘트에 의한 인장응력 발생은 강선긴장의 효과를 감소시킨다.

그림 3~그림 7은 각 단계의 긴장작업에 의한 응력 변화량을 나타낸 것이다. STAGE 1과 STAGE3는 전경간이 강선긴장에 의한 직접적인 하중이 지배적이지만, 나머지 단계의 긴장작업에서는 직접적인 긴장 하중을 받는 부분과 2차모멘트에 영향을 받는 부분의 응력 변화량이 차이가 있는 것을 볼 수 있다.

각 단계별 PSC 빔에 상부와 하부에 발생하는 인장응력과 압축응력은 콘크리트의 허용응력을 넘지 않도록 설계되어진다. 그러나 설계 긴장력과 시공시 긴장력에는 차이가 발생하며, 시공시 콘크리트에 발생하는 응력은 허용응력을 넘을 우려가 있다. 그러므로 설계시 산정한 응력변화량 대신 각 단계별 계측치를 사용하여 시공시 콘크리트 응력에 대한 검토가 필요하다.

표 1은 STAGE5의 작업이 끝난 상태에서의 빔의 응력을 검토한 것이다. 표에서 프리스트레스에 의한 빔의 응력은 각 단계별 계측치의 누적값이며, 단경간 하중은 빔의 자중, 바닥판 자중 및 작업하중에 의해 발생하는 응력이고 연속교 하중은 부정적력에 의한 응력값을 나타낸다. 이와 같은 방법으로 각 단계별 응력을 검토한 결과 빔 중앙부와 지점부의 응력은 모두 허용응력 안에 들어왔다.

표 1 STAGE 5 작업 후 빔의 중앙부와 지점부의 콘크리트 응력 검토

위치		프리스트레스		단경간 하중		연속교하중		응력합계		비고
		상면	하면	상면	하면	상면	하면	상면	하면	
p4	해석치	62.66	-48.09	-40.97	42.72	2.02	-3.99	23.71	-9.36	허용압축응력 =160(kg/cm) 허용인장응력 =-30(kg/cm)
	계측치	48.70	-37.37	-40.97	42.72	2.02	-3.99	9.75	1.36	
span5	해석치	1.49	118.63	96.20	-94.56	-0.85	2.37	96.84	26.44	
	계측치	1.65	131.55	96.20	-94.56	-0.85	2.37	97.00	39.36	
p5	해석치	66.35	-51.30	-30.36	31.66	-0.12	0.23	37.87	-19.41	
	계측치	71.02	-53.30	-30.36	31.66	-0.12	0.23	40.54	-21.41	
span6	해석치	0.28	137.41	103.44	-101.68	-1.57	4.37	102.15	40.10	
	계측치	0.28	135.16	103.44	-101.68	-1.57	4.37	102.15	37.85	
p6	해석치	51.94	-32.90	-21.69	22.62	-2.40	4.73	27.85	-5.55	
	계측치	33.82	-21.42	-21.69	22.62	-2.40	4.73	9.73	5.93	
span7	해석치	1.56	142.68	115.35	-113.38	1.30	-3.63	118.21	25.67	
	계측치	1.37	125.63	115.35	-113.38	1.30	-3.63	118.02	8.62	
p7	해석치	61.21	-35.66	-33.54	34.97	-2.57	5.08	25.10	4.39	
	계측치	68.57	-39.95	-33.54	34.97	-2.57	5.08	32.46	0.10	
span8	해석치	-6.52	154.35	73.74	-72.48	1.36	-3.79	68.58	78.08	
	계측치	-5.86	138.74	79.31	-77.95	1.36	-3.79	74.81	56.99	

4. 강선긴장력 측정결과 분석

4.1. 강선긴장작업시 마찰손실량 측정

STAGE 3의 4번 강선은 4경간을 연속화 시키는 강선으로써 4경간을 모두 지나가며, 중간에 강선연결용 커플러를 사용하지 않고 하나의 강선으로 배치된다. 그러므로 한쪽 정착부에서 도입된 강선의 긴장력은 마찰손실을 제외하고 반대쪽 정착부에 전달되어 진다. 4번 강선 P6 거더 정착부에 Load Cell을 설치 하였으며, 긴장용 잭으로 고정시킨 상태에서 반대쪽 P2의 정착부에서 긴장용 잭으로 강선에 긴장력을 도

입하였다. 시공을 위해서 썰기를 설치하지 않았으며, 긴장실험시 강선의 손상을 방지하기 위하여 긴장하중의 30%만을 도입하였다.

강선 긴장력의 마찰손실률은 긴장력에 크기에 관계없이 일정한 값을 나타내게 된다. 표 2에서 보는 바와 같이 실제 시공시 마찰손실률은 도입된 강선 긴장력에 관계없이 45.61%와 43.10%로 비교적 일정한 값을 나타내고 있다. 설계시 산정한 마찰손실량은 긴장단의 긴장력에 대하여 67.5%로 산정하고 있다.

실제 시공시 계측 손실량과 설계시 손실량을 비교한 결과 실제 마찰에 의한 손실량은 설계시 산정된 값보다 전체 긴장력을 기준으로 20% 정도 작다. 그러므로 강선긴장력의 손실량 중 마찰손실량만을 고려한다면 설계시 가정한 마찰손실량 보다는 적은 마찰손실이 일어난 것으로 판단된다.

4.2 정착단에서의 Anchorage Slip Loss 측정

표 2 강선 긴장력의 마찰에 의한 손실률

강선 도입 긴장력(tonf)	로드셀 측정값(tonf)	손실량(tonf)	계측에 의한 손실률(%)	설계시 추정된 손실률(%)
25.92	11.82	11.82	45.61	67.50
51.84	22.34	22.34	43.10	67.50

8경간 4번 강선 정착구에는 Load Cell을 영구 설치하였다. Load Cell을 이용하여 강선 긴장 작업시 도입된 하중과 Anchorage Slip Loss의 양을 측정하였다.

표 3 강선 긴장후 시간에 따른 긴장력

측정위치 측정시간	교대1(tonf)	교대2(tonf)
도입긴장력	171.8	172.6
긴장작업 종료 1시간후	163.1	156.9
긴장작업 종료 18시간후	161.4	154.2
긴장작업 종료 50시간후	161.2	153.1

그림 8 시간에 따른 긴장력의 변화

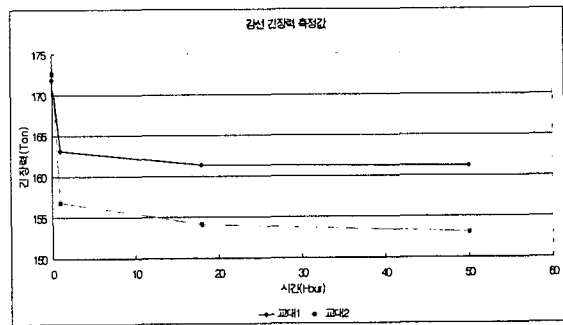


표 4 Anchorage Slip에 의한 긴장 작업후 손실량과 설계시 산정한 손실량

	도입긴장력(tonf)	손실후 긴장력(tonf)	손실량(tonf)	손실률(%)
교대1	171.80	161.20	10.60	6.17
교대2	172.60	153.10	19.50	11.30
구조계산서	170.57	140.92	29.50	17.38

긴장도입 작업완료시와 긴장작업 종료후 1시간후 측정하였으며, 하루를 간격으로 2일간 측정하였다. 강선 긴장시 목표한 긴장력은 170.57ton이며 계측결과 도입된 긴장력은 목표치에 이른 것으로 판단된다.

긴장작업이 완료된 후 Anchorage Slip Loss가 발생하였다. 측정 결과를 보면 작업 완료 후 1시간안에 긴장력 감소가 급격히 일어나고 그 후 완만한 변화를 보이는 것을 볼 수 있다.

계측된 강선 긴장 후 Anchorage Slip Loss는 6.17%와 11.30%로 설계시 산정한 Anchorage Slip Loss에 의한 손실률 17.38%보다 적은 값을 나타내고 있다.

5. 결론

서울교 확장교량은 8경간 PSC Beam 연속교이다. 확장교량 가설 순서는 크게 5단계로 나누어지며, 시공 중 계측은 각 가설 단계별로 빔의 응력변화에 대한 계측관리값을 산정하고 강선긴장에 따른 빔의 응력변화를 측정하였다. 또한 시공시 강선의 긴장력을 측정하여 설계시 산정한 강선의 긴장력과 비교 검토하였다.

계측된 응력변화량과 빔의 자중 등 사하중과 작업하중에 의한 응력, 연속에 의한 부정정력에 의한 응력을 고려하여 각 단계별 응력을 검토한 결과 빔의 중앙 경간과 지점부 콘크리트의 압축응력과 인장응력은 모두 허용응력 안에 들어왔다. 그러므로 계측치는 해석치와 비교하여 허용오차범위내에 있다고 판단된다. 강선의 긴장력을 측정한 결과 시공시 강선 긴장력의 마찰손실 및 Anchorage Slip Loss는 설계시 산정한 손실량보다 적은 것으로 나타났다.