

# 연속교 프리캐스트 바닥판의 교축방향 프리스트레스 설계

## Design of Longitudinal Prestress of Precast Decks in Continuous Bridges

심창수\*      김현호\*\*      하태열\*\*\*      전승민\*\*\*\*  
Shim, Chang Su   Kim, Hyun Ho   Ha, Tae Yul   Jeon, Seung Min

---

### ABSTRACT

Serviceability design is required to control the cracking at the joint of precast decks having longitudinal prestress in continuous composite bridges. Especially, details of twin girder bridges are complex not only due to main reinforcements and transverse prestress for the design of long-span concrete slabs but also due to shear pockets for obtaining the composite action. This paper suggests the design guidelines for the magnitude of the effective prestress and for the selection of filling materials and their requirements in order to use precast decks for twin-girder continuous composite bridges. The necessary initial prestress was also evaluated through the long-term behavior analysis. From the analysis, existing design examples were revised and their effectiveness was estimated. When a filling material having bonding strength higher than the requirement is used in the region of high negative moment, uniform configuration of longitudinal prestressing steels along the whole span length of continuous composite bridges can be achieved resulting in simplification of details and enhancement of the construction costs.

---

### 1. 서론

국내에서 강거더에 합성되는 프리캐스트 바닥판에 대한 실용화 연구가 완료되어 중부내륙고속도로 시험주로에 시공완료 되었고 청주육교의 바닥판 개량공사에 적용되어 신설공사와 교체공사에 모두 적용된 예가 있다. 선행 연구에서 개발된 프리캐스트 바닥판은 강거더를 갖는 합성거더교에 적용되거나 특별히 고안된 전단연결부를 이용해서 PSC 거더교에도 적용될 수 있다. 그림 1에서 보는 바와 같은 female-to-female 형태의 횡방향 이음부는 이음부에 철근의 연결이 단절되고 대신에 종방향 프리스트레스를 통한 압축력 도입으로 균열 제어를 한다는 개념에 따라 설계된다.

본 연구에서는 female-to-female 이음부를 갖는 전두께 프리캐스트 바닥판의 횡방향 이음부에서의 사용성을 보장하기 위해서 기존 연구에서 사용한 무수축 모르터를 대체할 수 있는 채움재료를 사용하여

---

\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 조교수

\*\* 정회원, 중앙대학교 건설환경연구소 전임연구원

\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 공학석사

\*\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정

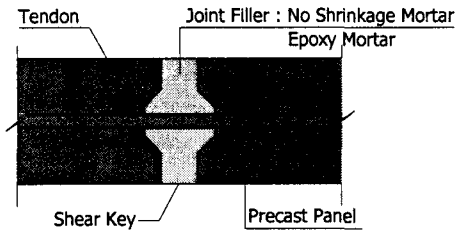


그림 1 프리캐스트 바닥판 횡방향 이음부

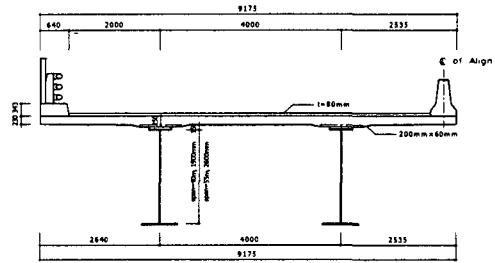


그림 2 교량단면 예제 (unit:mm)

단순교와 연속교에 대해서 도입해야 하는 종방향 프리스트레스의 크기를 개선할 수 있는 방안을 연구하였다. 연속교의 경우에는 활하중에 의해서 발생하는 바닥판의 종방향 인장응력의 크기가 정모멘트 구간과 부모멘트 구간이 서로 상이하어 프리스트레스 텐던 배치 상세가 복잡해지는 문제가 발생하는데 이를 부모멘트 구간 일부에 부착능력이 뛰어난 채움재료를 사용하여 균열제어에 소요되는 유효 프리스트레스의 수준을 정모멘트 구간과 동일한 수준으로 유지할 수 있도록 하는 방안을 연구하였다. 또한, 종방향 바닥판 인장응력 산정 방안과 장기 손실을 평가하기 위한 해석적 방안을 제시하여 2거더 연속교에 프리캐스트 바닥판을 적용하기 위한 설계 제안사항을 도출하였다.

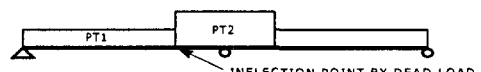
## 2. 유효 프리스트레스의 크기 결정

표 1 부착강도 실험결과 (unit:MPa)

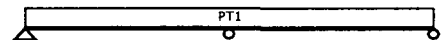
	Shear Test	Bending Test	Tensile Test
무수축 모르터	0.70	0.70	0.25
에폭시 모르터	0.85	3.80	1.25
탄성 모르터	-	1.33	1.06

현재 강합성 교량의 전두께 프리캐스트 바닥판에 대한 설계 규정은 AASHTO LRFD에서 제시하고 있는 최소한의 도입 압축응력 기준이 1.7MPa가 있고 국내에서 제시된 가이드라

인에 따르면 활하중에 의해서 이음부에 인장응력이 발생하지 않도록 제시하고 있다. 프리캐스트 부재 사이 이음부의 채움재료를 무수축 모르터, 탄성 모르터, 에폭시 모르터 등으로 선택하고 직접전단실험과 휨 인장에 대한 부착실험을 수행하여 실험결과를 설계예제 단면에 적용하였다. 실험결과는 표 1에 정리하였다. 해석에 적용된 교량은 프리캐스트 바닥판을 이용한 2거더 연속교이며 바닥판 지간과 두께를 설계변수로 교축방향 인장응력을 산정하였다. 그림 2에 예제 교량의 단면을 제시하였다. 정모멘트 구간과 부모멘트 구간의 바닥판에 발생하는 인장응력을 기준으로 균열제어를 위해 도입해야 하는 유효 프리스트레스의 크기를 결정하면 그림 3(a)에서 보는 것과 같이 고정하중 변곡점을 기준으로 서로 다른 크기의 프리스트레스 도입이 요구된다. 상세의 단순화를 위해서는 그림 3(b)에서 보는 바와 같은 동일 크기의 유효 프리스트레스를 도입하는 것이 좋은데 이를 위해서 설계 시 부모멘트 구간 채움재료의 소요 부착강도 기준과 적용 구간을 명시하여 사용성을 확보할 수 있어야 한다. 표 2에 정리한 바와 같이 바닥판 지간이 7.5m 인 경우는 발생 인장응력이 전 구간에서 거의 유사하게 나타나서 별도의 채움재료의 부착강도 요구조건이 없어도 동일한 크기의 프리스트레스 도입이 가능한 것으로 나타났다. 다만, 손실률을 고려한



(a) 무수축 모르터 사용시 프리스트레스 분포



(b) 부착특성 개선시 프리스트레스 분포

그림 3 유효프리스트레스의 분포

초기 프리스트레스의 크기가 과다한 경우에는 전 구간에 부착강도를 인정할 수 있는 재료를 사용하여 프리스트레스 소요량을 줄일 수 있다.

### 3. 장기거동 평가를 통한 초기 프리스트레스 크기 산정

강합성 교량에 프리스트레스를 도입하는 경우에 강재의 구속효과에 따른 도입 압축응력의 손실량이 일반적으로 상당한 수준으로 발생한다. 이러한 손실량은 강재의 상대적인 강성비 및 프리캐스트 부재의 재령, 프리스트레스 도입량 등에 따라 달라지기 때문에 좀 더 엄밀한 형태의 장기 손실 평가가 요구된다. 강합성 교량의 바닥판은 현장타설 방식의 경우는 슬래브에 도입한 프리스트레스의 편심으로 인한 솟음 또는 처짐을 내부지점이 구속함으로써 2차모멘트가 발생하는 2차효과의 문제를 야기하고 프리캐스트 방식에서는 슬래브와 거더의 합성 후 전단연결재가 있는 거더가 슬래브 하단의 크리프 변형을 구속함으로써 슬래브와 거더의 합성시기에 따라 다른 거동을 한다. 따라서 손실량 산정에서 이를 반영해야 한다. 연속교에서는 2차 부정정력에 대한 고려가 필수적이다. 2차 부정정력은 그림 4와 같이 우선 정정계의 모멘트에 영향계수를 곱하여 부정정계의 휨모멘트를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 아래 식 (1)과 (2)에 연속교의 부정정모멘트 산정식을 간략하게 나타내었다.

표 2 부착특성 개선 시 유효프리스트레스

교량 경간	바닥판 지간	전 경간 소요	
		압축응력(MPa)	부착강도(MPa)
2@40m	4.0m	2.57	0.35
	5.5m	3.19	0.34
	7.5m	4.00	0.00
2@55m	4.0m	2.46	1.37
	5.5m	3.05	1.63
	7.5m	3.84	1.42

$$M_o = -\frac{1}{2} M_s : 2\text{경간 부정정모멘트} \quad (1)$$

$$M_o = -\frac{1}{5} M_s : 3\text{경간 부정정모멘트} \quad (2)$$

기존의 해석결과와 실험결과를 근거로 판단할 때, 프리스트레스 강재의 긴장력 손실보다는 이음부에 도입한 압축응력의 손실량이 중요하며, 특히 이음부 하면에서의 손실량이 상대적으로 크기 때문에 초기 프리스트레스의 결정에서 압축응력의 손실량을 기준으로 하였다. 먼저, 작용하는 하중과 무관하게 발생하는 건조수축에 의한 압축응력의 손실량을 평가하기 위해서 도로교설계기준에서 규정하고 있는 최종 건조수축 변형률을 기준으로 환산단면에 의해 계산하였다. 장기거동 해석 시 변수로 고려되는 것은 주로 프리스트레스의 도입시기이다. 이 연구에서는 30일, 90일, 180일에서의 손실량을 구했고, 손실량 평가방법은 AAEM으로서, 프리캐스트 바닥판의 크리프계수는 엄밀하게 생각하면 프리캐스트 바닥판의 양생기간이나 시공순서에 따라 지속하중이 재하될 시점의 재령도 고려할 필요가 있기 때문에 식(3)의 재령수정탄성계수를 이용하였다.

$$\bar{E}_e(t, \tau_0) = \frac{E_c(\tau_0)}{1 + \chi(t, \tau_0) \Phi(t, \tau_0)} \quad (3)$$

여기서,  $E_c(\tau_0)$ 는 콘크리트 탄성계수,  $\chi(t, \tau_0)$ 는 재령수정계수,  $\Phi(t, \tau_0)$ 는 크리프 계수이다. AAEM으로 손실량을 계산하고 초기 프리스트레스 크기를 산정한 것을 표 4에서 정리하였다. 여기서 손실량이 시간

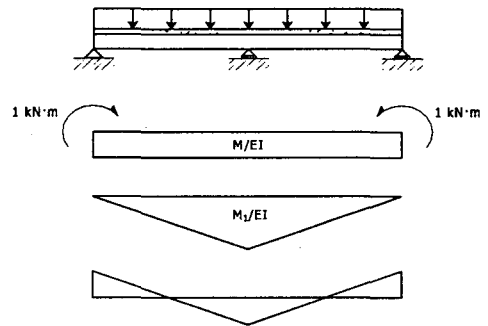


그림 4 크리프, 건조수축에 의한 2차부정정 모멘트

이 지나감에 따라 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

표 4 초기 프리스트레싱력 산정

경간	거더 간격	$f_{required}$	$P_{eff}$	$f_{initial}$	$t(day)$	$\Delta f_{loss}$	$f_{remained}$	$P_i$
2@40m	4.0	2.57	1818	5.45	30	2.84	2.61	3855
				4.73	90	2.07	2.66	3346
				4.09	180	1.44	2.65	2891
	5.5	3.19	2644	5.88	30	2.68	3.20	4871
				5.23	90	1.95	3.28	4336
				4.63	180	1.34	3.29	3834
	7.5	4.00	3840	6.84	30	2.70	4.14	6566
				6.04	90	1.90	4.14	5798
				5.40	180	1.27	4.13	5183
2@55m	4.0	2.46	1740	5.31	30	2.83	2.48	3759
				4.55	90	2.05	2.50	3220
				4.01	180	1.47	2.54	2837
	5.5	3.05	2528	5.92	30	2.76	3.16	4905
				5.12	90	1.97	3.15	4247
				4.51	180	1.37	3.14	3742
	7.5	3.84	3686	6.69	30	2.74	3.95	6421
				5.91	90	1.95	3.96	5676
				5.30	180	1.33	3.97	5087

### 5. 결론

- (1) 전 경간에 동일한 크기의 프리스트레스를 도입하는 개선안은 초기 프리스트레스의 크기를 줄일 수 있고 기존의 설계방안에 비해서 전체적인 손실량을 줄일 수 있다. 또한 프리캐스트의 장점을 활용하여 프리스트레스 도입시기를 지연시키면 손실량을 감소시킬 수 있다.
- (2) 고정하중에 의한 변곡점을 제거하여 프리캐스트 바닥판의 배근상세에 여유를 가져오고 시공성을 개선한다.

### 참고문헌

1. 건설교통부 (2005), 도로교 표준 시방서
2. 윤석구, 심창수, 정철현, 장승필 (1998), "프리캐스트 교량바닥판에 대한 종방향 프리스트레싱력의 산정방법", 대한토목학회 논문집, 제18권, 제I-6호, pp. 799-810.
3. ChangSu Shim, KyuYong Choi, SungPil Chang (2001), "Design of Transverse Joints in Composite Bridges with Precast Decks," Korea Society of Civil Engineers, Vol. 5, No. 1, March, 2001, pp. 17-27.
4. ChangSu Shim, SungPil Chang (2003), "Cracking of Continuous Composite Beams with Precast Decks," Journal of Constructional Steel Research, Vol.59, Feb., pp.201-214..
5. Sung-Pil Chang, Chang-Su Shim, Kyu-Yong, Choi, and Chul-Hun Chung (1999), "Longitudinal Prestress Losses of Precast Concrete Bridge Deck," Journal of KSCE, Vol. 19, No.I-6, Nov., pp. 917-927.