

프리스트레스트 강합성 거더의 정적거동 평가

Static Behavior of Prestressed Steel-Concrete Composite Girder

이필구* · 김성일** · 안해영*** · 문중훈****
Lee, Pil-Goo · Kim, Sung-Il · An, Hae-Young · Moon, Jong-Hoon

ABSTRACT

There has been a strong demand on more economic and lower depth girder bridges for short and medium span range. PRECOM, which is a new type steel-concrete composite girder, has been developed to realize a more economic bridge system with a lower depth girder. In the PRECOM girder bridge, a steel plate girder is simply supported and then concrete form is hung to girder. Thus, the self-weight of the concrete is loaded to the steel girder. To increase the resistance of concrete in the lower casing against tensile stress, compressive force is introduced by prestressed tendon. To evaluate the manufacturability and performances of the completed bridge, four 15-m girders and a bridge specimen with two 20-m girders were constructed. The camber during the construction and introduction of an appropriate compressive force was evaluated. Dynamic data were obtained through the modal testing of the completed girders. Static loading test was also conducted to examine cracks and evaluate the decrease in stiffness and failure behavior under extreme conditions.

1. 서론

합성거더 교량은 30m 내외의 단·중경간 규모로 형하공간의 제약사항이 엄격한 경우나 경간구성의 문제가 있는 경우에 저형고·장지간을 구현하며 다양한 공법으로 활발히 적용되고 있다. 하지만 강재의 가격상승과 더불어 신공법을 적용한 저가의 PSC 거더들이 개발되면서 강합성 거더의 경쟁력이 다소 약해지고 있는 실정이다.

이 논문에서는 강재와 콘크리트의 효율적인 단면적용 및 시공방법의 개선으로 PSC거더 교량의 경제성을 확보하고 기존의 합성거더가 갖고 있던 장기거동에 의한 도입 압축력 손실 및 partial prestressing 설계에 따른 균열 등의 문제점을 해결할 수 있는 프리스트레스트 강합성 거더 (Prestressed Composite Girder, 이하 Precom거더) 교량에 대한 제작성 및 구조성능을 검증하였다.

* 책임저자 : RIST 강구조연구소 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** (주)삼현PF 대표이사, 정회원

**** 대립산업 대리, 정회원

2. Precom 거더의 특징

Precom 거더 공법은 허용응력이 서로 다른 강재와 콘크리트를 효율적으로 합성시키는 공법으로 거푸집을 강재에 매달아 콘크리트의 자중이 강재에 부담된 상태로 합성하여 설계하중 재하 시 강재와 콘크리트가 동시에 허용응력에 도달할 수 있도록 응력을 배분시켜 단면의 효율을 극대화한 강합성 공법이다. Precom 거더는 합성거더 제작에 이러한 공법을 적용하고 하부케이싱 콘크리트의 인장저항능력을 높이기 위해 프리스트레싱 강선을 통해 압축력을 도입하게 된다.

콘크리트 자중 때문에 작업장에서 콘크리트 타설 후에 프리스트레싱을 해야만 운반을 할 수 있는 일반 프리스트레스트 거더들과는 달리 Precom 공법을 적용하게 되면 하부케이싱 콘크리트가 양생 후에 무응력 상태로 유지되기 때문에 운반 및 적치가 용이할 뿐만 아니라 거푸집이 강재에 매달려 있기 때문에 작업장 정지작업에서도 거푸집 전면적에 대한 작업이 필요없고 지점부분만의 레벨링작업으로 현장작업이 단순해진다. 또한 거더의 교각 거치 바로 전에 긴장작업을 수행하므로 하부케이싱 콘크리트는 무응력 상태로 장기적치가 가능하고 적치기간을 조절함으로써 콘크리트의 장기거동에 의한 손실을 최소화할 수 있다.

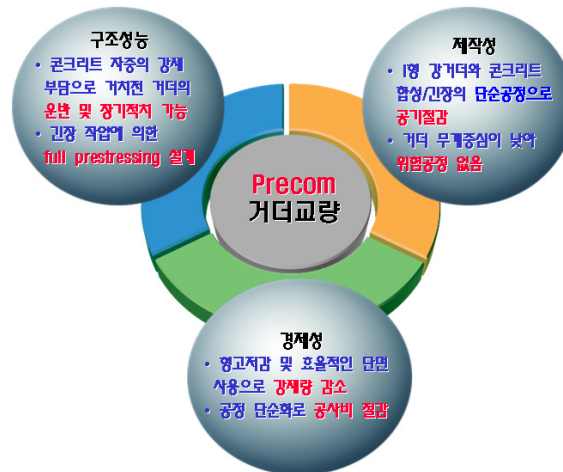


그림 1. Precom 거더의 특징

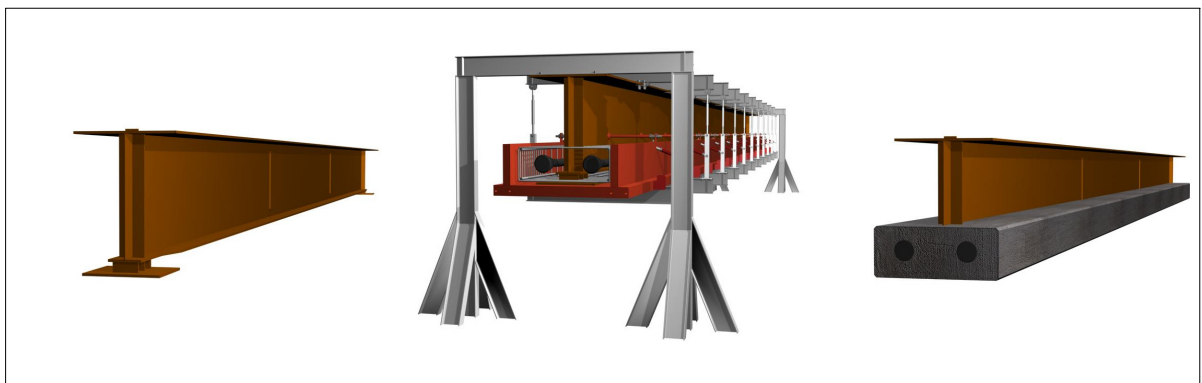


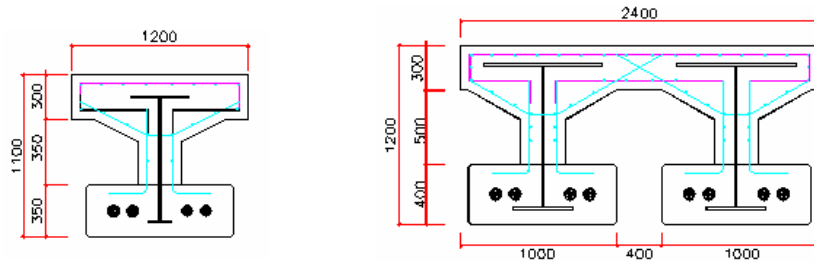
그림 2. Precom 거더 제작순서

제작은 강재 I거더와 콘크리트의 합성/긴장에 의한 단순공정으로 위험공정이 없어 기존 강합성 거더 대비 공기를 단축시킬 수가 있다. 또한 교각 위에 거치할 때에 PSC 거더에 비해 무게중심이 낮아 전도의 위험이 적고 활하중 재하시에도 변동응력이 작아 피로성능이 우수한 특징을 갖고 있다.

3. 실험 연구

Precom 거더는 강재와 콘크리트의 합성작용과 긴장작용으로 거더가 완성되므로 제작시의 압축력 도입과 캠버측정, 정착부의 거동 등의 평가와 탄성 및 균열 후 거동, 파괴시의 극한 거동을 분석하기 위해 제작성 평가 및 정적 재하시험을 수행하였다.

시험체는 기준이 보다 엄격한 철도교 LS-22 하중으로 설계하여 15m 거더시험체 3개, 20m 2 거더 시험체 1개를 각각 제작하였다. 강재는 SM570TMC를 사용하였고, 하부케이싱 콘크리트의 강도는 400kgf/cm^2 , 바닥판 콘크리트의 강도는 270 kgf/cm^2 , 프리스트레싱 강선은 SWPC7B 15.2mm 강선을 사용하였다. 시험체의 제원은 그림 3과 같고 시험 변수는 표 1과 같다.



(a) 15m 거더 시험체(CB1~3)

(b) 20m 교량 시험체(BM)

그림 3. 시험체 제원

표 1. 시험변수

시험변수 시험체	Prestressing Force (tonf)	Cover Depth (cm)	Shear Connection Distribution
CB 1	200 / total: 800	17.5	Current
CB 2	190 / total: 760	17.5	Current
CB 3	165 / total: 660	11	Max. interval
BM	230 / total: 920	20	Current

시험체 제작중 계측은 프리스트레싱 도입의 적정성을 평가하기 위해 시험체 마다 로드셀을 1 개씩 설치하였고, 정착부 하부케이싱 콘크리트의 지압 및 할렬파괴에 대한 응력을 평가하기 위해 교축방향 및 스테럽 철근에 변형률계를 부착하였다. 또한, 중앙경간의 강재와 하부케이싱 콘크리트에 변형률계를 부착하여 긴장시의 합성거동을 통한 압축응력 분담과 압축력 도입을 평가하였다. 변형률 데이터와 비교 분석을 위해 시공단계별 캠버를 단부와 중앙부의 상대변위로 측정하였다.

또한 정적재하시험시 하중증가에 따른 중립축의 변화는 중앙경간의 바닥판 상면과 복부 플랜지, 하부케이싱 콘크리트에 변형률계로부터 계측하였고 하연의 균열분석에도 사용하였다. 재하시험기기는 1000톤 만능시험기를 이용하였고 변위 제어를 통해 부재의 급격한 파괴를 방지하였다.

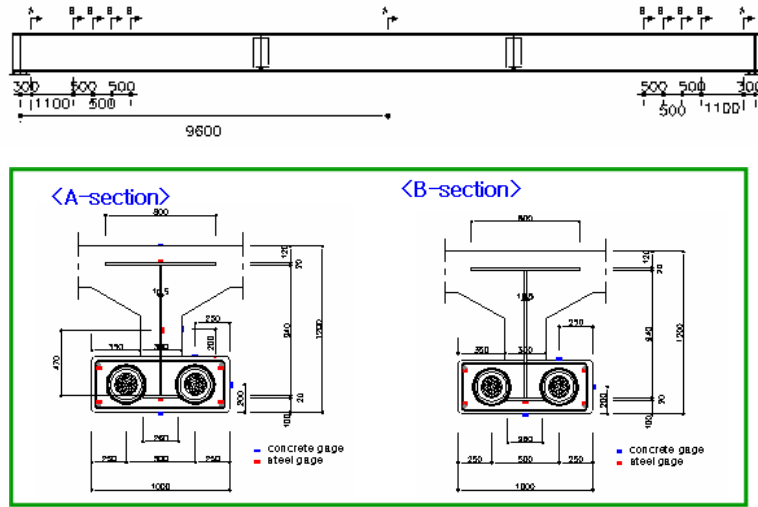


그림 4. 변형률 계측위치(BM)

4. 실험 결과

4.1 제작중 계측결과

공장에서 제작한 강재 I-girder의 제작오차 및 자중에 의한 캠버는 단위중량으로 계산한 값과 일치하였다. 하지만 거푸집 탈형 후 긴장전의 캠버는 적치시 콘크리트 건조수축에 의해 다소 차이가 발생하였다. 또한 긴장 후 캠버는 계산값과 1~1.5cm, 가량 차이를 보이고 있다. 이는 계산값의 경우 강선의 위치를 쉬스관의 중심에 있다고 가정하고 캠버를 계산하지만 실제의 경우에는 중앙단면의 강선은 초기 캠버에 의해 쉬스관 하면에 위치하므로 편심이 커져 캠버 및 압축응력 도입량이 계산값보다 커지지만 보다 안전측의 결과를 유도할 수 있었다.

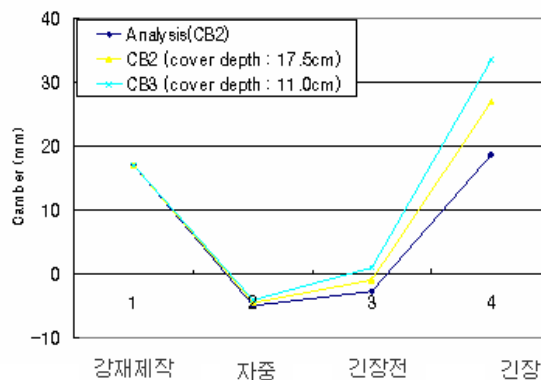
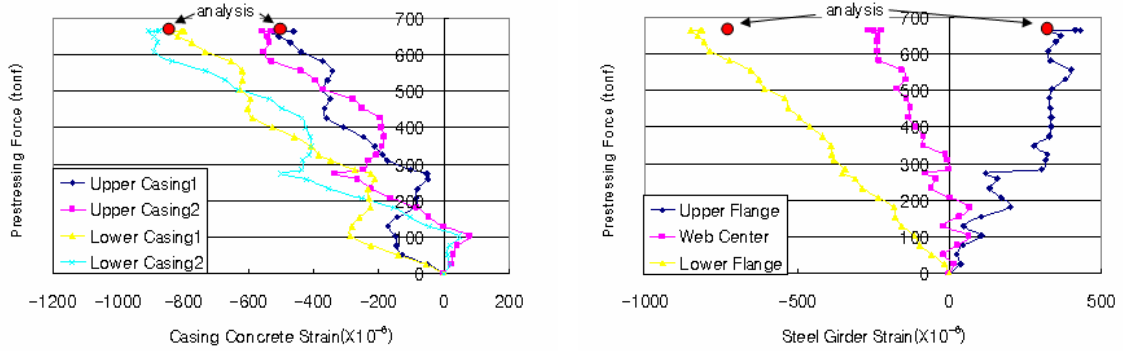


그림 5. 시공단계별 제작캠버

긴장 순서는 4개의 강선마다 최종 도입 긴장력의 50%씩 나누어 긴장하였다. 그림 6에서와 같이 콘크리트와 강재 I-girder의 변형률 계측값은 즉시 손실을 고려한 계산값과 일치하였다. 이로

써 강재와 콘크리트의 완전합성거동 및 주 설계단면인 중앙경간의 적정한 압축응력 도입을 확인하였다.



(a) 하부케이싱 콘크리트 변형률 (CB3)

(b) 강재 I-girder 변형률 (CB3)

그림 6. Prestressing Force 도입시 변형률

4.2 정적 시험결과

정적실험을 통해 탄성상태에서의 거동과 하부케이싱 콘크리트의 균열 후의 강성변화를 평가하고 파괴시까지의 재하를 통해 파괴모드 및 극한거동을 규명하였다.

그림 7에서는 하중-변위 곡선을 보여주는데 탄성상태에서의 강성은 해석치와 일치하였으며 재료강도의 안전율로 인해 파괴시 극한강도는 계산값의 16.5~20.5% 증가된 값을 보였고 사용 활하중의 약 6.1배의 하중에서 파괴가 발생하였다. 최종 파괴모드는 바닥판의 압축파괴였고 이로 인한 강도저하가 발생하였다. 지간 중앙부를 중심으로 하부케이싱 하연에 휨균열이 발생하였는데 균열이 발생한 후에 반복 재하하여도 강성의 변화는 미미하였다. 또한 파괴 후 하중 제거시 강선의 긴장에 의해 균열과 변형이 모두 회복되었다.

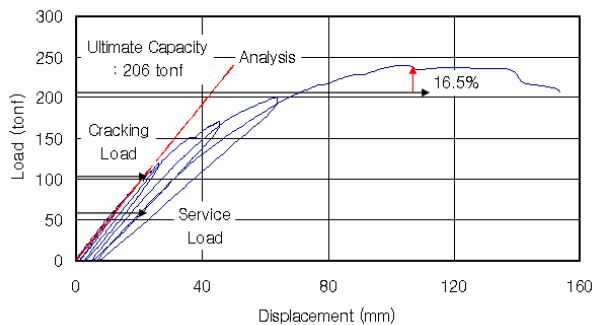


그림 7. 하중-변위 곡선

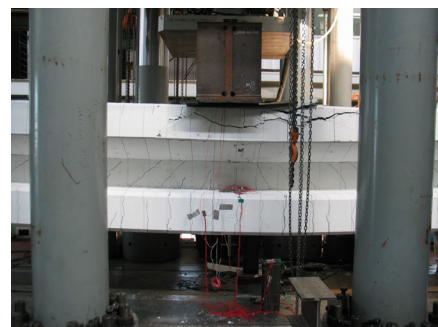


그림 8. 파괴형상

하부케이싱 콘크리트의 균열은 사용 활하중 (31tonf)의 약 2배의 하중에서 발생하였다. 또한

균열이후의 거동은 그림 14에서처럼 강재 I-거더의 변형을 계측결과 복부(거더의 무게 중심)에 부착된 게이지의 값이 약 130tonf에서 증가하는 것을 확인하였다. 이는 하부케이싱 콘크리트의 균열에 의한 합성단면의 강성감소로 중립축의 위치 상승하는 것을 보여준다. 따라서 실질적인 강성감소는 균열직후 발생하는 것이 아니라 사용 활하중의 약 3배의 하중에서 발생함을 알 수 있었다.

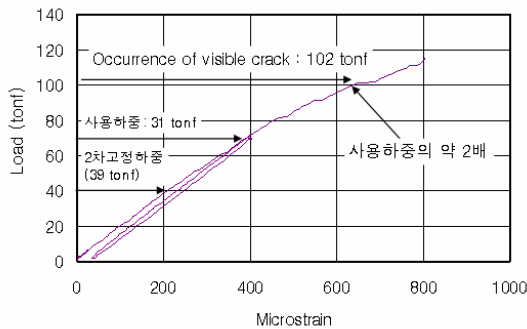


그림 9. 하부케이싱 콘크리트 하면 변형률 (CB1)

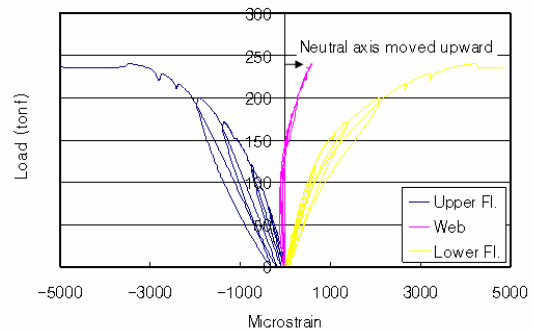


그림 10. 강재 I-girder 변형률 (CB1)

5. 결론

이 논문에서는 신형식 강합성 거더인 Precom에 대한 제작성 및 정적거동을 평가하였다. 시험 계측결과 제작시 중앙단면의 효과적인 압축력도입 및 정착부 콘크리트의 안정성이 확인되었고, 캠버는 긴장시에 다소 계산값보다는 크게 발생하였으나 안전측 설계를 도모하였다. 정적재하시험결과 균열은 사용하중의 약 2배의 하중에서 발생하였으며 균열 발생 후에도하여도 강성은 감소하지 않았다. 파괴형상은 바닥판의 압축파괴였으며 극한강도는 최대저항모멘트 보다 약 16% 정도 큰 값을 나타내어 충분한 안전율을 갖고 있는 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. 도로교 설계기준(2005)
2. 철도교 설계기준(2005)