

PSC박스거더교 상부슬래브에서의 시간의존적 변형률 분포

Distribution of Time-dependent Strains in the Top Slab of PSC Box Girder Bridge

김영진*

김병석**

곽종원***

Kim, Young-Jin Kim, Byung-Suk Kawrk, Jong-Won

ABSTRACT

PSC(Prestressed Concrete) box girder bridges have been widely applied in Korea. A number of these bridges have been built by the segmental construction method in the longitudinal direction and(or) vertically along the cross-sectional depth with MSS(Moving Scaffolding System). An actual 2-span continuous PSC box girder bridge of Kyeongbu high speed railway was selected and instrumented with 96 vibrating wire embedded type strain gauges and 2 thermocouples. The long-term behavior of the bridge was monitored through two major points located at mid-span of the first span and at the internal support. Data collection started just after the casting of the first segment (U section). Concrete strain and temperature data were gathered regularly by a data logger (CR10) during 600 days under and after construction. According to this measurement, the parabolic longitudinal strain distribution in the top slab at mid-span is shown. And also, the same distribution at the interior support is shown. The compressive strains at the cantilever region are larger than at the web position and the internal part in the top slab. Strain difference largely happened during the early construction period.

1. 서론

PSC 박스거더교(Prestressed Concrete Box Girder Bridges)는 상부슬래브(top slab)와 복부(web), 하부슬래브(bottom slab)로 구성된 박스 단면을 가지고 있다. 상부슬래브는 박스 안쪽 부분인 복부 내측부와 바깥쪽 부분인 캔틸레버부로 구분할 수 있다. 캔틸레버부는 상·하면과 측면이 외기에 직접 노출되고 있는 반면에, 복부 내측은 상면만이 외기에 노출되고 하면은 복부와 하부슬래브에 의해 밀폐되어 있다.

그러므로 캔틸레버부와 복부 내측부의 두 부재는 온도 및 습도 노출 조건에 있어서 서로 다른 상태에 있다. 일반적으로 서로 다른 환경 속에 있는 부재들은 건조수축 및 크리프 변형률 거동 특성이 상이하게 발생한다. 즉, 외기 노출 효과에 따라서 건조수축량 및 크리프 변형량이 달라진다는 것이다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

완전 밀폐된 박스단면인 경우 내부 면의 노출 효과는 거의 없는 것으로 가정할 수 있다. 그러나 일반적인 PSC 박스거더교는 박스 내부가 외부와 완전히 밀폐된 것이 아니고 어느 정도 외기와 소통할 수 있는 구조이다. 상황에 따라 다르겠지만 일반적인 PSC 박스거더교에서 박스 내면의 노출 효과는 약 50%정도라고 알려져 있다¹⁾.

이와 같이 PSC 박스거더교의 상부슬래브에서도 박스 내측부와 캔틸레버부는 서로 다른 노출 조건에 있기 때문에 크리프 및 건조수축 변형률이 다르게 발생할 것으로 예상된다. 이러한 상이한 변형을 발생으로 인해 상부슬래브에서는 응력의 재분배가 발생하고 내부적인 자가 평형응력(internal self equilibrating stress) 상태에 있게 된다.

본 연구에서는 시공중인 PSC 박스거더 교량의 주요 단면내에 반영구적인 콘크리트 게이지를 매설하고 자동 계측기를 설치하여 시간의 경과에 따른 콘크리트의 변형을 이력을 파악하였다. 그 중에서 경간 중앙부와 내부 지점부의 상부슬래브에서 계측된 변형을 측정결과만을 분석하여 그 분포를 제시하였다. 계측대상 교량인 PSC 박스거더교는 2경간 연속 교량으로서 이동식비계시스템(Movable Scaffolding System, MSS) 공법에 의해 시공되었다. 거푸집이 부착된 특수한 이동식 비계를 이용하여 한 경간씩 차례로 복부와 하부플랜지를 1단계로 타설하고(U Trough부분), 2단계로 상부슬래브 콘크리트를 타설하는 단계별 분절시공으로 가설되었다.

2. 시공단계 및 완공후 현장 계측

계측을 위해 선정된 교량은 경부고속철도 6-1공구의 갑천교(그림1 참조)로 2@40m의 전형적인 고속전철 교량이다²⁾.

계측 대상 교량은 1998년 11월 5일 MSS 장비와 거푸집의 조립이 완료된 후, 11월 8일 첫 번째 경간의 철근이 조립됨으로서 가설이 시작되어, 1999년 1월 16일 제2경간 최종 텐던을 긴장한 후 그라우팅을 실시함으로써 가설이 완료되었다.

각 시공단계에 따른 하중 변화와 시간 경과에 따른 증방향 및 횡방향 변형을 이력, 증방향 변형을 및 횡방향 변형률의 분포 상태, 분리타설에 따른 1차와 2차 타설간의 변형률 차이, 그리고 단면내 온도이력 등을 계측하는 데 초점을 맞추었다. 게이지 부착 단면 위치는 2경간 연속교량에서 중요지점이라고 할 수 있는 첫 경간의 중앙과 내부 지점부를 선정하였으며, 상부 슬래브 변형률의 분포를 파악하는데 어려움이 없도록 대칭으로 상부슬래브에 진동형식 게이지(Rocktest사) 총 19개를 매설하였으며, 교량 전체에 38개를 매설하였다. 또한 Thermocouple(K type)을 박스거더 내외부(그림 2의 T71, T72)에 설치하여 주변온도와 박스 내부의 온도를 측정하였다.



그림 1. 계측대상 교량의 시공 전경

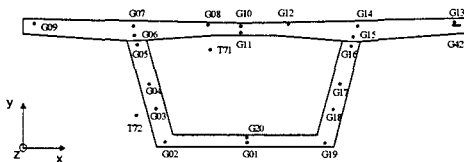


그림 2. 게이지 매설 위치 (1st mid-span)

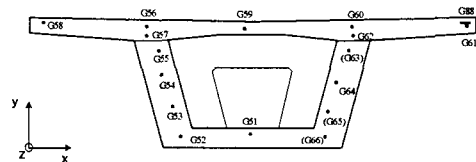


그림 3. 게이지 매설 위치 (Intermediate Support)

각 게이지의 리드선을 교량 구체로부터 인출하기 위하여 별도로 플라스틱관을 매설하여 보호하고 거푸집 탈형이 완료된 후 실드와이어에 연결하고 데이터로그에 연결하였다. 그림 4는 게이지 설치상태를 보여주고 있다. 1차 콘크리트 타설 및 양생이 끝나 내부 거푸집이 탈형된 후에 자동계측기에 연결하고 30분 간격으로 측정이 실시되었다. 초기단계에서는 콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성이 급격히 변하고, 게이지 연결 상태를 수시로 확인할 필요가 있으므로 30분 간격으로 측정하였으며, 일정기간이 경과한 후부터 1년이 되는 시점까지는 1시간 간격으로, 그리고 1년 이후에는 하루 간격으로 측정하였다.

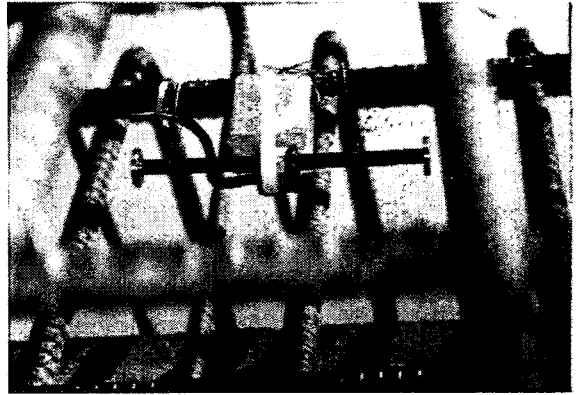


그림 4. 진동현식 게이지 매설 상태

3. 측정결과와 분석

시공단계별 변형을 변화추이를 알아보기 위해 60일간 측정된 데이터와 의미 있는 각 시공 단계를 첫 경간 중앙 상부슬래브에 대해서 그림 5에, 그리고 장기간의 변형을 추이를 그림 6에 나타냈다. 여기서 양(+)은 압축변형을 나타내고 음(-)은 인장변형을 나타낸다. 하중이력에 따른 역학적 변형률은 각 시공단계에서 하중 재하에 의하여 증감하고 있음을 알 수 있다. 그리고 변형률은 캔틸레버 단부근처와 복부 내부 사이에 매우 큰 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 변형률 차이는 상부슬래브 타설 후 10일 이내에 거의 발생하고 있으며, 시간이 경과함에 따라 일정 값을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 내부지점부 상부슬래브에서도 동일하게 나타나고 있다³⁾. 최종적으로 교량이 완공된 후 상부플랜지에서는 그림 7과 같이 포물선 형태의 변형률 분포를 나타내고 있다. 여기서 점선은 상부슬래브 두께 변화를 고려하여 계산한 단면내 평균 변형률을 나타낸 것이다. 박스거더 교의 상부슬래브에서는 중립축에서 동일한 거리에 있더라도 시공단계별 시간의존적 종방향 변형률이 일정하지 않음을 알 수 있다.

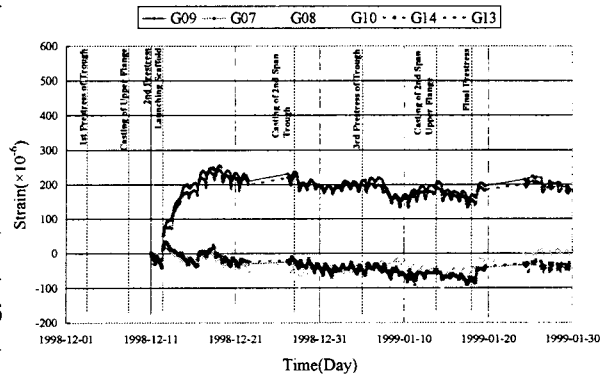


그림 5. 시공단계별 변형률 이력

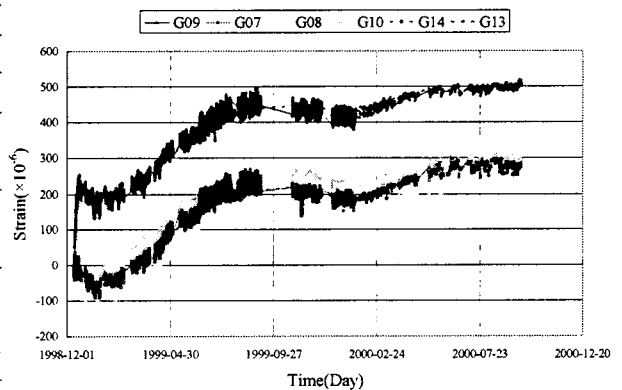


그림 6. 장기적인 변형률 이력

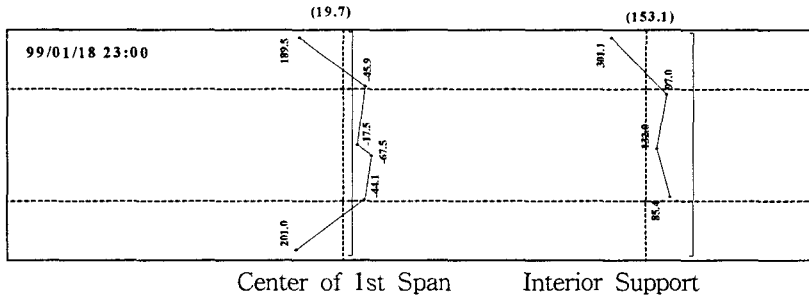


그림 7. 교량 완공시 상부슬래브에서의 변형률 분포

4. 결론

시공 중인 PSC 박스 거더 교량의 주요 단면 내부에 반영구적인 콘크리트 게이지를 매설하고 자동 계측기를 설치하여 콘크리트의 시간의존적인 변형률 이력 등을 계측하였다.

계측 실험결과, 현장 측정데이터의 특수성 때문에 일정한 경향을 보여주면서 어느 정도 이산 분포를 나타내고 있다. 이것은 주변 온도와 습도, 풍속이 계절과 주야 시간대별로 변화하는데 따라 콘크리트 안 수분이동이 변동하기 때문에 발생하는 것으로 추정되고 있다. 상부슬래브의 캔틸레버 단부에서는 건조수축이 비교적 잘 일어나 복부사이의 상부슬래브와는 다르게 압축변형률이 크게 발생하고 있다. 즉, 박스거더의 상부슬래브에서 중립축에서 동일한 거리에 있더라도 시공단계별 시간 종속적 종방향 변형률은 일정하지 않게 나타났다. 변형률 차이는 상부슬래브 시공 초기 10일내에 거의 발생하며 시간이 경과함에 따라 일정하게 유지되고 있다. 이것이 캔틸레버가 있는 박스거더 교량의 고유한 특징인지를 밝히기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. H. Rüsçh, D. Jungwirth, and H.K. Hilsdorf, Creep and Shrinkage - Their effect on the behavior of concrete structures, Springer-Verlag, 1983
2. 김영진, 종방향 및 연직방향 시공단계를 갖는 프리스트레스트 콘크리트 박스거더 교량의 휨거동에 관한 연구, 박사학위 논문, 서울대학교, 2005
3. 김영진, 고현무, 김병석, 곽중원, "PSC 박스거더교의 시공단계별 종방향 변형률 분포", 대한토목학회 2005년 정기 학술발표회 논문집, 2005, pp1075~1078