

강-콘크리트 혼합거더 접합부의 정적 거동에 관한 연구

A Study on the Static Behavior of Connection for the Steel-Concrete Hybrid Girder

김문겸* 노병철** 김정훈*** 박현철****

Kim, Moon-Kyum Lho, Byeong-Cheol Kim, Jeong-Hoon Park, HyunChul

ABSTRACT

This paper focuses on the static behavior of prestressed and non-prestressed connections for the steel-concrete hybrid girder. Based on the experimental study, it is found that the girder with non-prestressed connection failed by local concrete failure at the connection area, and the studs are taken out from the concrete. In case of the girder with prestressed joint, the failure of the girder is initiated by the crack at the varying section area. The test results show that the girder with prestressed connection has higher load carrying capacity compare to the girder with non-prestressed connection by 12%. Therefore, the application of prestressing at the concrete-steel connection recommended for the more secure connection.

1. 서론

교량의 설계 및 시공기술의 발달로 인해 교량은 장대화되고 있으며, 교량형식 또한 다양화되고 있다. 최근 장대교량에서 중앙경간은 강부재, 측경간은 콘크리트부재를 사용한 하이브리드 교량형식을 적용함으로써 고정하중을 감소시켜 교량의 역학적인 특성과 경제성을 향상시킨 사례가 증가하고 있다. 이때 강구조와 PSC구조의 연결부는 힘의 흐름을 원활하게 하고 국부손상을 방지할 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 강구조와 PSC구조의 연결부재에 대한 정적재하실험을 통해 PS 긴장력에 따른 거동특성을 파악하고 혼합구조 연결부의 합리적인 설계방안을 연구하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계강도 40MPa, 슬럼프 15cm, 공기량 4.5%로 설계된 레미콘 제품을 사용하였으며, 콘크리트의 물성값은 표 1에 나타내었다. 배근된 철근은 항복강도 400MPa인 SD40을 사용하였으며, 지름 16mm인 전단연결재 8개를 접합부에 설치하였다. 또한 항복강도 470MPa, 직경 20mm의 PS강봉을 사용하여 강과 콘크리트 접합부를 긴장하였다.

* 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수

** 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 부교수

*** 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 겸임교수

**** 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 석사과정

표 1 콘크리트 배합표

굵은골재 최대치수 (mm)	설계기준 강도 (MPa)	슬럼프 범위 (cm)	공기량 범위 (%)	물-시 멘트비 W/C (%)	잔골재율 S/a (%)	단위량(kg/cm³)				
						물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	혼화재료 AD
20	40	15±2.5	45±1.5	34.0	43.0	162	512	724	962	5.12

2.2. 실험체제작

본 실험에서는 혼합구조의 접합부 거동을 연구하기 위해 그림 1에 나타난 바와 같이 강재부는 단면 588×300×12×20mm, 길이 2,700mm, 항복강도 400MPa인 H형강을 사용하여 제작하였다. 콘크리트부는 그림 2에서 보는 바와 같이 SD40이 배근되었으며, 588×300mm의 접합부 단면을 가진 길이 3,000mm의 I형 보를 제작하였다. 콘크리트부재와 강구조부재를 연결하는 접합부는 그림 3과 같이 588×300mm, 길이 300mm의 스틸박스로 강부재에 줄 용접이음하였다.

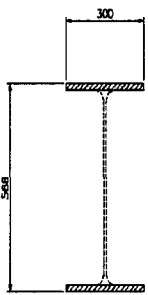


그림 1 강재부

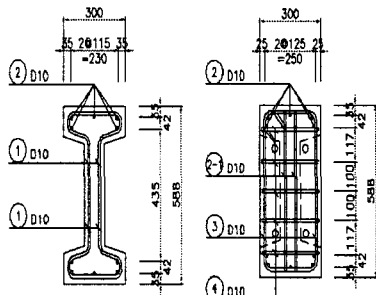


그림 2 콘크리트부

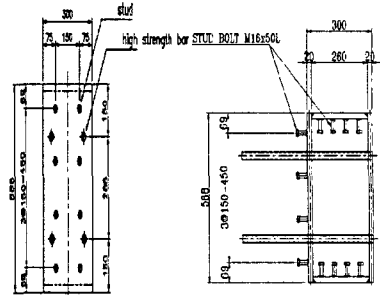


그림 3 접합부

2.3. 실험방법

이질부재 접합부의 긴장력에 따른 거동특성을 파악하기 위해서 PS강봉에 5tonf의 긴장력을 도입한 시험체(prestressed:P)와 긴장력을 도입하지 않은 시험체(non-prestressed:NP)를 각각 제작하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 H형의 강재부와 줄 용접이음된 스틸박스는 150mm 간격으로 총 8개의 STUD BOLT(M16×50L)를 부착하였으며 무수축 모르타르로 내부를 충전하였다. PS강재의 종류는 긴장구간이 540mm로 짧기 때문에 릴랙세이션이 적고 나사전조를 함으로써 쉽게 정착시킬수 있는 PS 원형 강봉을 선택하였다.

하중재하는 그림 4에서 나타난 바와 같이 단순보 순경간 5,400mm의 경간중양에서 하중이 작용하는 3점 재하 방식으로 가력하였다. P시험체의 재하방법은 균일 관측시까지 1차 하중재하를 하고, 하중을 제거한 후 잔류변형을 측정, 최종 파괴될 때까지 2차 하중재하를 하였다. 재하된 하중량을 측정하기 위하여 유압잭 하부에 로드셀을 설치하였고, 시험체의 변위 측정을 위하여 L/4, L/2, 3L/4지점에 각각 변위계(LVDT)를 설치하였다. 중앙부에서 콘크리트부 방향으로 250mm, 1000mm 떨어진 곳의 상부 및 하부철근에 변형률계이저를 3개씩 콘크리트를 타설하기 전에 설치하고, 강재부의 상하면에 변형률계이저를 설치하여 변형률을 측정하였다. 또한 로드셀과 시험체 사이에는 집중하중으로 인한 국부파괴를 방지하기 위하여 300×300×20mm의 강판과 하부에는 차량하중을 모형화하기 위해 고무패드를 삽입 설치하여 하중을 재하하였다.

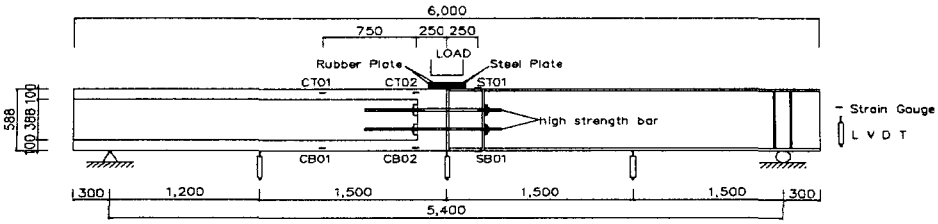


그림 4 하중재하도

3. 실험결과

3.1. 하중-처짐관계

그림 5는 긴장력을 가하지 않은 NP시험체와 5tonf의 긴장력을 가한 P시험체의 하중-처짐의 관계와 하중-처짐 곡선을 정리한 것이다. 긴장력을 가하지 않은 NP시험체의 항복하중과 극한하중은 그림 5에서 보는 바와 같이 각각 약 67kN과 73kN이며, 이는 전단 연결재인 스티드만으로 연결된 콘크리트부와 강재부의 접합부에서 균열이 발생하여 중립축 아래에 있는 가장 하단부의 스티드가 100% 역할을 수행하지 못하게 됨으로써 약 67kN에서 처짐이 일차적으로 급격하게 발견되는 양상을 보이고 있다. 또한 강봉을 수용하기 위해 콘크리트 속에 삽입된 지름 26mm의 강제 쉬스관이 접합부의 급격한 파괴를 막는데 부분적 역할을 한 것으로 판단되며, 항복 이후 접합부의 부분합성 거동이 완전히 파괴되는 73 kN에서는 15mm의 처짐이 발생되었다. 그림 6은 순경간의 L/4지점에 설치된 콘크리트부의 하중-처짐 곡선으로 처짐은 중앙부 처짐의 약 50%로 이론값과 약 6%의 차이를 나타내고 있다.

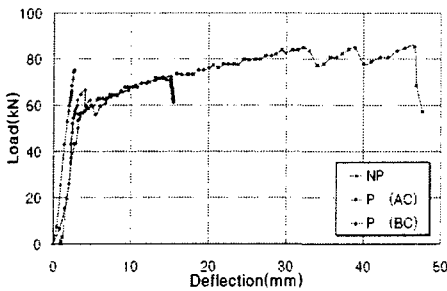


그림 5 L/2지점(중앙부)

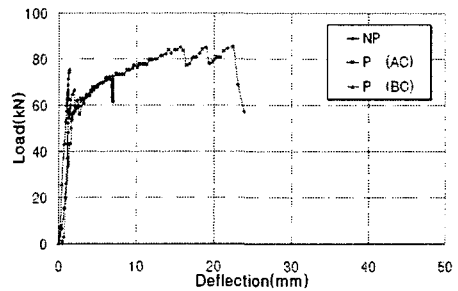


그림 6 L/4지점(콘크리트부)

3.2. 하중-변형률관계

그림 7은 콘크리트 부재에 매설되었던 경간중앙에서 250mm 떨어진 주철근의 변형률을 나타내고 있으며, 주철근의 변형률이 최대 21% 크게 계측되었다. 콘크리트와 강재를 스티드와 강봉으로 접합한 혼합구조 형태의 본 시험체는 PS 강봉의 긴장력의 역할 때문에 P시험체의 철근이 NP시험체 철근보다 휨 거동시 더 많은 응력을 부담한다. 따라서 PS 강봉의 긴장력은 접합부 거동에서 각 부재의 하중전달 및 응력분배에 유리하며, PS 강봉의 긴장력으로 구속된 강-콘크리트 혼합구조를 갖는 복합거더 형태의 P시험체가 정적 휨 거동시 접합부에서 하중 전달을 보다 원활하게 한 것으로 판단된다.

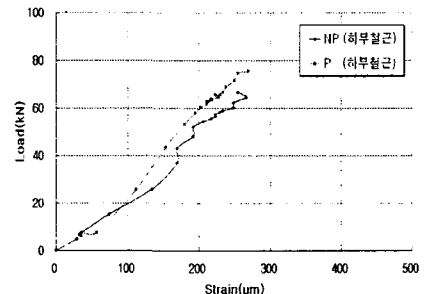


그림 7 하중-변형률

3.3. 단면변형률관계

그림 8과 그림 9는 NP시험체와 P시험체의 콘크리트부에 설치된 상부철근과 하부철근 중앙부에서 측정된 변형률로 단면변형률을 나타낸다. 강봉의 긴장력이 도입되지 않은 NP시험체의 중립축은 그림 8에서 보는 바와 같이 단면 하단부를 기준으로 하중 증가에 따라서 244~279mm로 측정되었다. 7kN에서 60kN으로 하중증가 시 중립축은 35mm 상승하였다. 그림 9은 P시험체의 단면변형률이며, 하중증가에 따라서 247~296mm의 중립축 상승을 보여준다. 똑같은 하중 60kN의 하중이 재하되었을 때 P시험체의 중립축이 NP시험체의 중립축보다 5mm 높은 것으로 계측되었다.

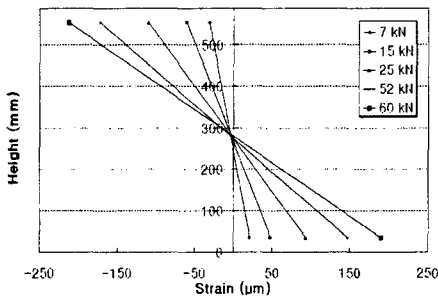


그림 8 NP시험체 단면변형률

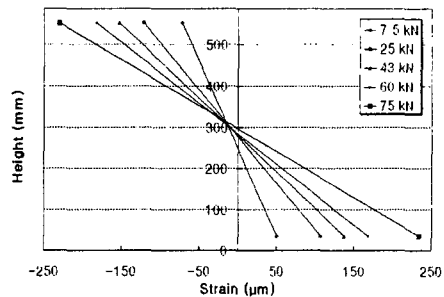


그림 9 P시험체 단면변형률

4. 결론

본 연구에서는 강구조와 PSC구조의 연결부재에 대한 정적재하실험을 통해 PS 긴장력에 따른 거동 특성에 미치는 영향을 다루었으며, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PS 강봉에 긴장력을 도입하지 않은 시험체는 접합부 주변 콘크리트의 파괴로 항복하였고, 연결재의 뿔현상이 나타났으므로, 연결재는 정착길이 확보 개념으로 설계하는 것이 바람직하다.
- 2) 항복하중 이후 파괴하중에 이르기까지 PS 강봉의 영향이 지배적이며, 이후 급격한 취성파괴를 막고 연성파괴를 유도함으로써 안전성 확보에 유리한 것으로 나타났다.
- 3) PS 강봉에 긴장력을 도입한 시험체는 콘크리트 보의 파괴양상을 보이며 최대하중이 긴장력을 도입하지 않은 시험체보다 12% 크게 나타났으므로, PS 긴장력 도입이 접합부 거동에 유리한 것으로 판단된다. 따라서 최적 긴장력 산정을 위한 추후 연구에서는 실제 적용되는 구조물 강성에 비례한 실험적 연구가 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 GS건설 및 VSL Korea의 지원을 받아 수행되었으며 관계 제위께 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 김광수 외 3인, "PSC-강 혼합거더의 연결부 거동 해석", 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, 제 16권 제 1호(통권 제30호), 2004, pp.413~423.
2. 유성원 외 5인, "복합구조 적용을 위한 접합부 거동 실험", 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, 제 16권 제 1호(통권 제30호), 2004, pp.774~777.
3. Matsuishi, M., Hattori, Y., Iwata, S., Ishihama, T., Yamamoto, T., and Kitazono, M., "Ultimate Strength of Composite Steel-Concrete Structure of Sandwich System", **J. SNA., Japan**, Vol. 157, 1985, pp. 233-240.