

복부 트러스 복합교량 접합구조의 실험적 연구

Evaluation of the Joint Design in Composite Truss Bridges

심창수^{*} 박재식^{**} 김광수^{***}

Shim, Chang Su Park, Jae Sik Kim, Kwang Soo

ABSTRACT

Joint structures of composite truss bridges can have the same details for the connection between diagonal members and upper concrete slab as the connection between diagonal members and lower concrete slab. Adequate connection details should be decided according to design codes, constructibility, and economical evaluation. It is necessary to clarify the design check items and load transferring mechanism because combined external loads on composite truss bridges are concentrated at the joints. Joints with gusset plates and stud connectors are applied and complicated joint details may arise some problems in construction. This paper deals with experimental evaluation of the joints in composite truss bridges and proper design provisions were investigated to enhance the details. Push-out test specimens with group studs were fabricated and the effects of grouping and bent studs were studied.

1. 서론

복부 트러스 복합교량의 접합구조는 사재와 상부 슬래브의 연결, 사재와 하부 슬래브의 연결구조가 동일하게 적용 되거나 서로 다르게 적용될 수 있다. 복합 트러스의 특성상 격점부에 하중이 집중될 수밖에 없고 작용하중도 복합적이기 때문에 성능 검증이나 설계 검토항목의 선정이 쉽지 않아 하중전달 체계나 설계 항목의 검증이 명확하도록 하는 것이 바람직하다. 강재로 된 트러스 사재를 직접 슬래브에 매입하는 형태의 격점부는 어떤 형식으로든지 사재에서 슬래브로 전달되는 하중을 분포시키기 위한 상세가 요구된다. 격점부에서만 하중이 집중될 경우에는 콘크리트 슬래브의 균열 발생 등으로 원래 의도한 내하력을 충분히 발휘할 수 없게 된다. 매입형 격점부의 단점은 설계항목과 기준을 선정하기 어렵다는 것이다. 따라서, 실물크기의 실험적 검증을 통해서 요구 성능을 만족시키는지 여부를 보여주는 것이 필수적이고 고려하지 못하는 변수의 영향을 감안하여 상당히 보수적인 요구성능을 제시할 필요가 있다. 그림 1의 거сет 플레이트를 갖는 복합트러스 교량의 격점부 상세를 보면 스티드 연결재를 다수 사용하여 격점부에 작용하는 하중에 저항하도록 설계되는데 상세가 복잡하여 시공성에 문제를 일으킬 수 있고 타설된 콘크리트의 품질 확보에 어려움이 있을 수 있기 때문에 개선이 요구된다.

* 정희원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 조교수

** 정희원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정

*** 정희원, 현대건설 기술연구소 차장

이 논문에서는 격점부 상세를 개선하기 위해서 개정된 설계기준에서 허용하는 25mm 스티드를 사용하고 인발강도 증가 및 연성 파괴를 확보하기 위해서 절곡 스티드를 고안하여 제안하였다. 제안된 그룹 스티드 연결재를 갖는 전단연결부의 극한강도 평가를 위해서 push-out 실험을 수행하여 기존의 설계기준의 적용성을 검토하였다.

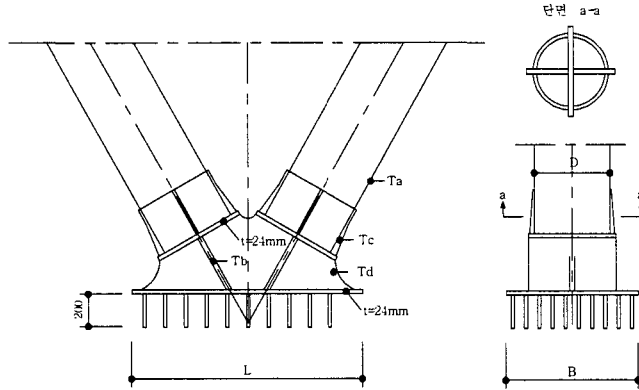


그림 1. 거석 플레이트를 갖는 복합트러스 교량 격점부 상세

2. 실험적 연구

2.1. 실험부재

복합트러스 교량의 격점부는 인장, 전단, 휨 등 복합적인 조합하중을 받는다. 파괴모드는 연결재만의 파단, 콘크리트 슬래브의 인발 및 전단파괴, 연결재 파괴와 슬래브 파괴가 함께 발생하는 복합모드로 구분할 수 있다. 콘크리트의 인발하중에 대한 파괴 강도 평가에 대한 기준은 ACI 혹은 PCI를 적용할 수 있다. 스티드 연결재의 전단파괴에 대한 평가는 현재는 단일 스티드 연결재에 대한 강도를 배치되는 수만큼 합산하는 형태로 이루어진다. 물론, 설계기준에서는 이러한 방법을 사용하기 위해서는 연결재 배치에 대한 상세 기준을 만족하는 경우에 한해서라는 전제가 내포되어 있다.

그룹 배치된 스티드 연결재는 현재의 설계기준에 의한 평가를 위해서 추가로 검토되어야 하는 사항들이 존재한다. 콘크리트 파괴의 측면에서는 전단파괴면의 형성 메카니즘과 파괴 강도 산정, 연결재 파단의 측면에서는 다수의 연결재가 하중재분배를 하면서 동시에 파단에 도달한다는 가정이 만족하는가 하는 것이다. 이를 검증하기 위해서 실제로 설계된 복합트러스 교량의 콘크리트 바닥판의 두께를 반영하고 상세를 개선하기 위해 제안된 25mm 절곡 스티드를 가진 push-out 시편을 그림 2와 같이 제작하여 정적 파괴실험을 수행하였다. 연결재의 전단강도의 합이 크기 때문에 이로 인해 콘크리트 부분의 조기 파괴를 방지하고 지압 콘크리트의 구속력을 증가시키기 위해서 연결재 주위로 보강철근을 배치하는 변수를 추가하였다.

바닥판 구속철근 보강여부와 절곡 연결재 사용 여부를 변수로 한 그룹 배치 전단 연결재 Push-out 시험체를 6개 제작하여 정적실험을 수행하였다. 표준양생 7일 강도를 시행하여 57.63 MPa의 콘크리트 강도를 얻어 낼 수 있었다. 정적실험은 10000 kN 용량의 만능시험기를 이용하였으며, 실험부재 상면의 하중 분산을 원활히 하기 위해서 고무판을 올렸다. 상대변위의 측정은 그룹 스티드 중앙에 4개의 1/1000mm 정밀도의 LVDT를 각각 설치하였다.

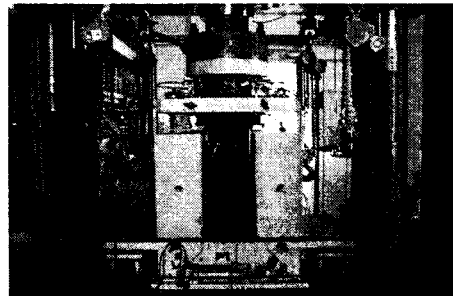
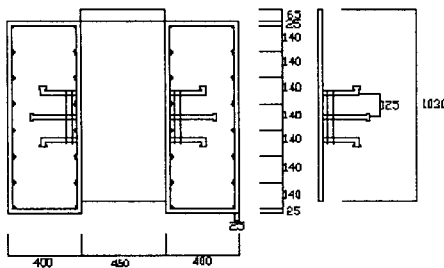


그림 2 절곡스터드를 가진 전단연결부 push-out 부재

2.2 실험 결과

표 1에 실험결과를 정리하여 제시하였다. 6개의 시편에 대해서 동일한 직경의 스테드 연결재를 사용하였고 콘크리트 슬래브의 압축강도가 동일하기 때문에 AASHTO LRFD, Eurocode-4, PCI 기준에 의해 계산되는 각각의 설계강도는 동일하게 된다. 이 계산에서는 각각의 스테드 연결재 하나의 전단강도를 실험에 사용된 연결재 수를 곱하여 산정하였다. 연결재의 간격이 서로 좁게 되면 실제 강도가 이 강도보다 낮을 수 있게 된다.

실험결과에서 나타난 값으로부터 판단할 때 직선 스테드를 사용한 기준부재에 비해서 절곡 스테드를 사용했거나 보강 스테럽을 사용한 경우에는 높은 전단강도를 나타내는 것을 알 수 있다. 콘크리트의 강도가 설계강도에 비해서 다소 높게 나타나서 콘크리트 슬래브의 손상이 주된 파괴 모드가 되지 못하고 그림 3에 나타난 바와 같이 스테드 파단으로 나타났다. 즉, 스테드 절곡의 효과가 나타날 수 없는 파괴 모드이었고 다만 격점부 실제 설계될 수 있는 간격을 가진 그룹 스테드 전단연결부의 전단강도는 현재의 설계기준에 의해 평가해도 안전측의 결과를 줄 수 있음을 확인하였다. 스테드 전단연결재는 연성 연결재이지만 그룹으로 많이 배치되면 연성이 감소할 수 있는데 이 실험에서 사용된 9개씩의 그룹 연결재의 경우에는 충분한 연성을 보여 주었다. 그림 4에 각 실험부재의 하중-상대변위 곡선을 나타내었다.

3. 결론

부재명	스터드 직경	f_{ck} (MPa)	변수	설계강도(kN)			실험강도 (kN)	최대변위 (mm)
				LRFD	EC-4	PCI		
SPSS1	25mm	40	기준부재	3750	3000	2770	3960	16.45
SPBS1	25mm	40	스터드절곡	3750	3000	2770	4100	17.45
SPSS2	25mm	40	스터럽1개	3750	3000	2770	4201.5	14.51
SPBS2	25mm	40	스터드절곡 스터럽1개	3750	3000	2770	3722.8	11.21
SPSS3	25mm	40	스터럽2개	3750	3000	2770	3654.3	14.55
SPBS3	25mm	40	스터드절곡 스터럽2개	3750	3000	2770	4346.6	12.1

표 1 실험결과 분석



그림 3 그룹 스티드 연결부의 파단면 형상

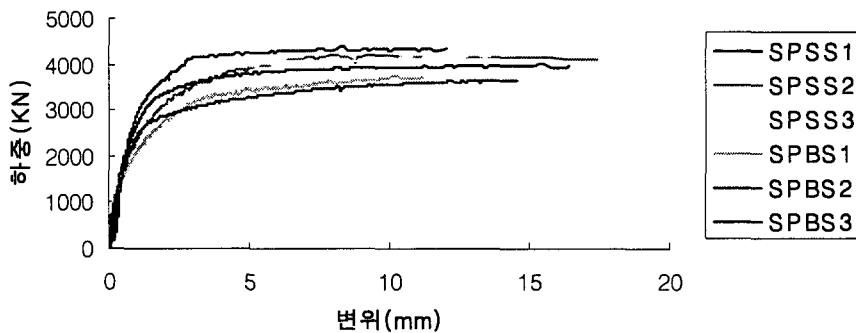


그림 4 하중-변위 곡선

복합트러스 교량의 거셋 플레이트를 갖는 격점부의 상세를 개선하고 설계기준의 적용성을 검토하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 절곡 스티드의 사용, 보강 스티럽의 추가 배치를 주요 변수로 설정하여 push-out 정적실험을 수행한 결과 현재의 설계기준에서 제시하고 있는 설계 강도에 비해서 큰 값을 보였고 콘크리트 파괴는 발생하지 않았다. 따라서, 직경이 큰 스티드 연결재를 사용하여 연결재간의 간격을 늘리고 보강 철근을 사용하면 그룹으로 배치되는 경우에도 현재의 설계기준을 전단강도의 평가에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 장승필, 심창수 (2005), *합성구조론*, 구미서관
2. 이필구, 심창수, 윤태양 (2003), "대직경 스티드 전단연결재의 정적거동", 한국강구조학회 논문집 제 15권 6호, pp. 611-620.
3. 심창수, 이필구, 김현호, 윤태양 (2003), "대직경 스티드 전단연결재의 피로거동", 한국강구조학회 논문집, 2003, 12, pp.621-628.
4. PCI-edition2 ; DESIGN AND TYPICAL DETAILS OF CONNECTIONS FOR PRECAST AND PRESTRESSED CONCRETE
5. EUROCODE-4 : Design of composite steel and concrete structures, Part 2 : General rules and rules for bridges EN 1994-2. CEN, 2005