

전단연결재 강도산정 영향인자에 대한 연구

A Study on Factors Influencing the Shear Strength of Shear Connectors

여진호^{*} 임남형^{**} 강영종^{***}
Yeo, Jin Ho Lim, Nam Hyoung Kang, Young Jong

ABSTRACT

Generally, in a steel girder and the concrete slab act as a composite structure, the connectors must have adequate strength and stiffness. If there are no horizontal or vertical separations at the interface, the connectors are described as rigid, and complete interaction can be said to exist under these idealized circumstances. In previous study, it was considered that the strength of stud is affected by the stud diameter, height of stud and compressive strength of concrete. The differences between previous study and this study are variables, which are shank diameter of shear connector, the spacing of shear connector, the size of specimen and the row of shear connector. So this paper, as a study on the strength of shear connector with the spacing of shear connector, size of specimen (block-out size), row of shear connector and shank diameter of shear connector resulted from the push-out specimen are conducted with ABAQUS program. It is to investigate the effects of characteristics of these factors. The load-slip relations obtained from the experiments are compared with those of analyses. From these results, the trends of stress are stress estimated and compared with push-out test.

1. 서 론

유럽에서 시작된 합성형 교량은 기술자들에게 많은 기술적 선택의 자유와 창조성을 부여하고 있다. 인장에 강한 강재와 압축에 강한 콘크리트의 적절한 조화로 구조물을 효율적이고 경제적으로 시공할 수 있는 많은 합성형 교량이 개발되었고 실제 적용되어 왔다. 합성형 설계의 주요이점은 강재 중량의 감소, slender한 강재 주형, 전체 구조물 강성의 증대, 지간 길이의 증대 등을 들 수 있다. 본 연구는 합성형과 비합성형의 분류에서 시작하며 스티드와 슬래브 앵커간에는 각각의 내력 및 배치간격의 차이점이 있다는 점에 착안을 둔 연구에서 비롯하였다. “프리스트레스를 적용한 강합성형 교량 형식의 개발”의 일부로서 합성형 구조에서 강재 주형과 콘크리트 바닥판 사이

* 비회원, 고려대학교 토목환경공학과 석사

** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 박사

*** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

의 합성시 콘크리트 바닥판의 미리 만들어둔 block-out부를 통해 전단연결재를 강제 주형의 플랜지에 용접한 다음 무수축 모르터를 충전시켜 경화시킬때의 스테드의 전단강도와 슬립에 대해 block-out부를 국부적 모델로 적용하여 시험체 실험을 통한 기존 전단연결재 강도의 변수로 가능한 스테드 직경, 스테드 높이, 콘크리트 압축강도 외의 스테드 직경, 스테드 간 간격, 시험체 크기 (block-out size), 스테드 열 수 등을 변수로 할 때 스테드 강도에 미치는 영향을 실험을 통해 알아보고, 해석을 통하여 모르터 주인장응력 및 스테드의 휨, 전단 응력에 대해 연구하였다.

2. 실험

2.1 시험체 및 정적 실험

본 연구에서 사용한 시험체는 고강도 무수축 모르터를 사용한 콘크리트와 비슷한 설계기준 강도 300 kgf/cm²를 기준으로 하였으며, 시험체에 사용한 철근은 D10의 이형철근을 사용, 주철근과 횡보강 철근으로 사용하였다. 스테드의 제원은 길이 15cm, 직경 19, 22mm를 각각 종방향 1열, 2열, 3열 배치 하였으며 스테드 간 간격은 10, 30cm로 달리한 시험체를 제작하였다. 압축 강도 시험을 위한 공시체는 강도 측정시에 편심을 방지하기 위해 공시체의 양면을 grinding 하였으며 평균값을 사용하여 강도를 산정하였다.

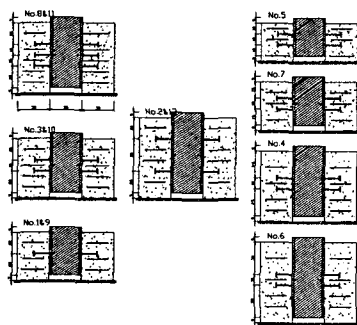


그림 1 시험체 형상 및 철근 배치

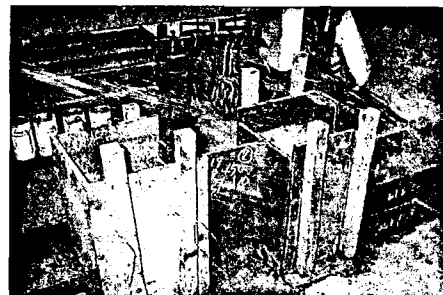


그림 2 시험체 제작

2.2 가력 및 측정 방법

본 연구에서 각 시험체는 U.T.M.에 시험체를 거치하여 H형강의 상부를 고정시키고 유압을 가하여 하중이 모르터에 전달되게 하였다. 모르터와 형강 사이의 슬립량을 측정하기 위해 dial gauge를 형강의 양쪽에 설치하였고 가력판과 형강 사이의 편심제거를 위해 시험체를 대칭을 이루게 배치하였다. 시험체내의 주철근과 횡보강 철근을 배치하고 횡방향 철근으로 하여금 모르터의 구속 효과와 팽창을 제어하려 하였다. 강재와 모르터와의 순수 거동에 중점을 둔 모르터와 강재간의 부착에 의한 효과를 줄이기 위해 강재에 그리스를 사용하였으며 하중을 서서히 증가시켜 최대하중과 하중 단계별 슬립을 확인하였다.

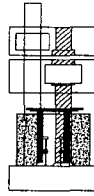
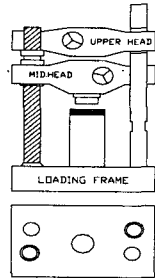


그림 3 U.T.M. 및 시험체 거치 상황

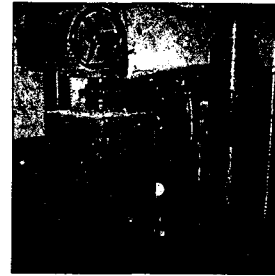


그림 4 시험체 가력

3. 실험결과 및 분석

직경 19, 22mm 시험체에 대한 하중-슬립 곡선은 다음과 같다.

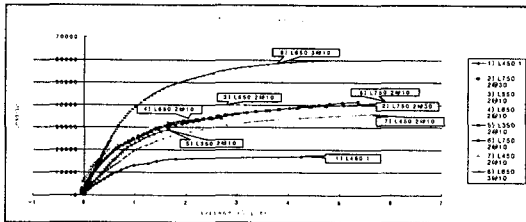


그림 5 스테드 직경 19mm 시험체 하중-슬립곡선

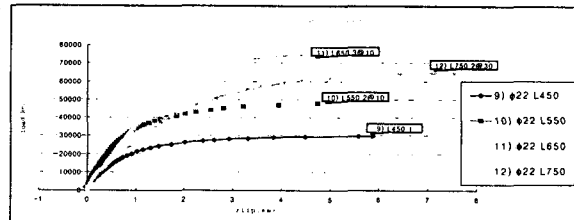


그림 6 스테드 직경 22mm 시험체 하중-슬립곡선

3.1 스테드 직경에 대한 실험 결과

시험체 크기 55cm, 스테드 2열 배치, 스테드 간 간격 10cm로 일정하며 스테드 직경 19, 22mm의 변수의 시험체에 대한 실험결과는 다음과 같다.

표 1 직경에 대한 비교(1)

specimen	직경 (mm)	증가율 (%)	mortar 압축강도 (kgf/cm ²)	mortar 지압응력 (kgf/cm ²)	스테드 본당 하중(tonf)	하중증가율 (%)	파괴형태
3	19	15.8	277	365	10.425	14.6	모르터 파괴
10	22		332	362	11.95		모르터 파괴

시험체 크기 65cm, 스테드 3열 배치, 스테드 간 간격 10cm로 일정하며 스테드 직경 19, 22mm의 변수의 시험체에 대한 실험결과는 다음과 같다.

표 2 직경에 대한 비교(2)

specimen	직경 (mm)	증가율 (%)	mortar 압축강도 (kgf/cm ²)	mortar 지압응력 (kgf/cm ²)	스테드 본당 하중(tonf)	하중증가율 (%)	파괴형태
8	19	15.8	323	350	9.97	24.7	모르터 파괴
11	22		349	377	12.43		모르터 파괴

3.2 스테드 간 간격에 대한 실험 결과

본 연구는 스테드 2열 배치, 시험체 크기 75cm, 스테드 직경 19mm로 일정하고 스테드 간 간격에 대해 각각 10, 30cm의 변수를 둔 경우 스테드 본당 하중 증가는 3.2% 가량 나타남을 알 수 있다.

표 3 스테드 간 간격에 대한 실험 결과

specimen	직경 (mm)	간격 (cm)	mortar 압축강도 (kgf/cm ²)	mortar 지압응력 (kgf/cm ²)	스테드 본당 하중(tonf)	하중증가율 (%)	파괴형태
2	19	30	350	355	10.125	3.2	모르터 파괴
6	19	10	294	367	10.45		모르터 파괴

3.3 시험체 크기에 대한 실험 결과

본 연구는 스테드 2열 배치, 스테드 직경 19mm, 스테드 간 간격 10cm로 일정하고 시험체 크기를 변수로 둔 경우 시험체 크기가 커질수록 스테드 본당 하중 증가가 나타남을 보여준다.

표 4 시험체 크기에 대한 비교

specimen	시험체 크기(cm)	mortar 압축강도 (kgf/cm ²)	mortar 지압응력 (kgf/cm ²)	스테드 본당 하중(tonf)	하중증가율 (%)	파괴형태
5	35	280	297	8.475		모르터 파괴
7	45	264	315	9	6.2	모르터 파괴
3	55	277	366	10.425	22	모르터 파괴
6	75	294	367	10.45	22.2	모르터 파괴

3.4 스테드 종방향 배열에 대한 실험 결과

본 연구는 스테드 직경 22mm 시험체, 스테드 간 간격 10cm로 일정하고 스테드 종방향 열 수를 변수로 한 실험으로 스테드 열 수가 증가할수록 스테드 본당 하중은 증가하는 경향을 나타내나 2열과 3열 배치의 비교에서 스테드 본당 하중이 다소 증가함을 나타내나, 이는 스테드 강도식의 주요 변수인 모르터 압축강도가 3열 배치의 경우 다소 크게 나온 바로 판단된다.

표 5 스테드 열 수에 대한 비교

specimen	스테드 열 수	mortar 압축강도 (kgf/cm ²)	mortar 지압응력 (kgf/cm ²)	최대하중 (tonf)	하중증가율 (%)	스테드 본당 하중(tonf)	파괴형태
9	1	253	452	29.8		14.905	모르터 파괴
10	2	332	362	47.8	60.4	11.95	모르터 파괴
11	3	349	377	74.6	56	12.43	모르터 파괴

4. 해석적 연구

전단연결재를 사실적으로 표현하여 국부적 거동을 파악키 위해 전단연결부의 유한요소 해석에 대해 본 연구는 스테드가 연결된 시험체에 대한 구조해석을 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하

여 실제 구조물의 3-D 모델링을 통한 선형해석을 통해 실험치와 해석치와의 경향을 검증하였다. 실험체는 대칭형이므로 구속 조건을 사용하여 절반에 대한 모델링을 하였고 강재 주형의 flange 부분도 역시 구속 조건을 사용하여 모델링 과정에서는 모사하지 않았다. 재료 선형 효과를 고려한 모르터와 스티드의 응력을 검토하였다.

4.1 스티드 열 수에 대한 해석 결과

스티드 열 수 증가에 비례하는 하중 재하를 통해 모르터와 스티드의 응력 검토는 다음과 같다.

표 6 구조 해석에 의한 모르터 응력

specimen	하중(kgf)	최대 주인장응력(kgf/cm ²)	합렬 인장강도(kgf/cm ²)
1) ϕ 19 L450	150	34.67	34.64
3) ϕ 19 L550	300	38.67	34.64
8) ϕ 19 L650	450	35.48	34.64

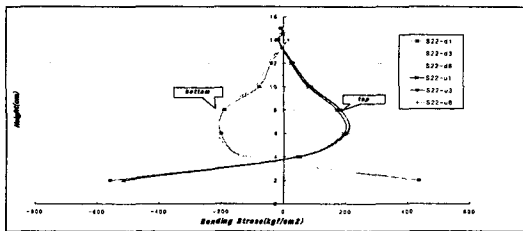


그림 7 스티드 열 수 별 휨응력 분포

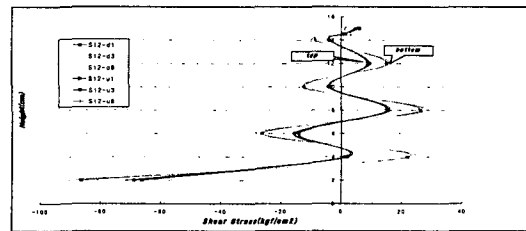


그림 8 스티드 열 수 별 전단응력 분포

· 스티드 열 수 증가를 고려한 하중 재하 결과 스티드 열 수가 증가할수록 모르터 최대주인장응력은 증가하는 경향을 띄며 스티드의 휨, 전단 응력도 스티드 1열 배치에 비해 증가함을 알 수 있다. 즉 스티드 개개의 내력면에서 스티드 열 수 증가에 따른 내력의 증가는 비례적으로 증가함을 나타내진 않는다.

4.2 스티드 직경에 대한 해석 결과

스티드 직경 19, 22mm에 대해 동일 하중 재하를 통한 모르터와 스티드의 응력 검토는 다음과 같다.

표 7 해석에 의한 모르터 응력

시험체	하중(kgf)	최대 주인장응력(kgf/cm ²)	합렬 인장강도(kgf/cm ²)
3) ϕ 19 L550	300	38.67	34.64
10) ϕ 22 L650	300	33.17	34.64

표 8 직경별 스티드 응력 비교

시험체	하중(kgf)	휨응력(kgf/cm ²)	휨응력감소율(%)	전단응력(kgf/cm ²)	전단응력감소율(%)
3) ϕ 19 L550	1200	556.8		68.75	
10) ϕ 22 L550	1200	495.5	11	63.73	7.3

· 스티드 직경 증가를 고려한 하중 재하 결과 스티드 직경이 증가할수록 모르터 최대주인장응력은 감소하며 스티드의 휨, 전단 응력 또한 감소함을 알 수 있다.

4.3 스테드 간 간격에 대한 해석 결과

스테드 2열 배치 간격 10, 30cm에 대해 동일 하중 재하를 통한 응력 검토는 다음과 같다.

표 9 스테드 간격 별 모르터 응력 비교

시험체(간격)	하중(kgf)	최대 주인장응력(kgf/cm ²)	할렬 인장강도(kgf/cm ²)
φ 19 L550(10)	300	38.67	34.64
φ 19 L550(30)	300	40.92	34.64

표 10 스테드 간격 별 스테드 응력 비교

시험체(간격)	하중(kgf)	휨응력(kgf/cm ²)	휨응력증가율(%)	전단응력(kgf/cm ²)	전단응력증가율(%)
φ 19 L550(10)	1200	556.8		68.75	
φ 22 L550(30)	1200	629.8	13.1	80.85	17.6

· 스테드 2열 배치의 간격을 변수로 한 경우 간격이 감소할수록 모르터 최대주인장응력은 감소하며 스테드의 휨, 전단 응력 또한 감소함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구를 통해 전단연결재 강도에 영향을 미치는 인자를 달리한 경우 스테드와 모르터에 걸리는 응력을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스테드 직경의 증가는 스테드 본당 하중의 증가와 모르터의 최대 주인장응력 감소를 가져오며 스테드의 휨응력 및 전단응력의 감소를 나타낸다.
2. 스테드 2열 배치 간격의 감소는 스테드 본당 하중 증가, 모르터 최대 주인장응력 감소, 스테드의 휨응력, 전단응력의 감소를 나타낸다.
3. 시험체 크기의 증가는 스테드 본당 하중의 증가를 나타낸다.
4. 스테드 열 수의 증가는 스테드 본당 하중의 감소와 휨 변형보다 전단파괴의 경향을 나타내며 하중을 스테드 열 수에 비례하여 증가시킨바 스테드 휨응력 및 전단응력의 증가를 가져오며, 모르터 최대 주인장응력의 증가를 가져온다.

참 고 문 헌

1. Jorgen G. Ollgaard, Roger G. Slutter and John W. Fisher "Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete", AISC Engineering Journal, 1971.4
2. 건설교통부, "프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화", 1998.11.
3. 심창수 외 3인, "프리캐스트 바닥판 교량 전단연결부의 전단강성", 한국강구조학회, 학술발표대회논문집, pp.749~758, 1998.12.
4. 이원호 외 2인, "합성보에서 쉬어코넥터의 거동에 관한 해석적 연구", 대한건축학회 논문집, 제 12권 5호, pp.189~197, 1996.5.
5. 이리형 외 2인, "합성바닥 구조 시스템에서 슬래브의 길이방향 전단내력에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제6권 3호, pp.241~250, 1990.6.