

전단연결부 형상에 따른 분절부재의 전단내하력에 대한 실험적 연구

An experimental study for shear loading capacity of segmental members depending on various types of shear connector

한만엽* 강태현** 신재우** 진경석*** 강상훈**
Han, Man-Yup Kang, Tae-Heon Shin, Jae-Woo Jin, Kyung-Suk Kang, Sang-Hun

ABSTRACT

The numerical analysis and the experiment was performed to investigate the influences of shear connector on shear resistance capability. The numerical analysis's results should that the H/B ratio of shear key is more effective than angle of shear key against shear strength and shear behavior, and it is more desirable to use a half of the H/B ratio of shear key. The specimen was made with same condition as AASHTO recommended. There model tests were performed under various form of shear key, number, arrangement reinforcement and condition using epoxy. As a result of the experiment, there is little difference(or there is no difference) between the case of using epoxy on shear connector and the unused case.

1. 서론

교량의 상부구조에 PSC I형 거더를 이용한 합성형 교량은 그 뛰어난 시공성과 경제성으로 인하여 지난 1960년대에 국내에 처음 도입된 이래 경간 30m 이하의 도로교 및 철도교 등에 매우 광범위하게 설계, 시공되어 왔다. 이렇게 I형 거더교의 건설이 일반화되어 대량으로 건설되기 시작하자 이들 거더를 현장에서 제작하는데 따른 고강도 레미콘의 제조, 콘크리트 타설 및 양생 작업, 철근 조립 작업, 등 품질관리의 어려움으로 인하여 부실한 교량이 많이 나타나기 시작하였고, 이에 따라 준공 된지 얼마 안 되어 균열이나 처짐이 크게 발생하여 재시공되는 교량도 늘어나는 경향을 보이게 되었다.

이러한 문제를 해결하기 위한 노력의 일환으로 거더를 몇 개로 분할하여 공장에서 제작하고, 현장으로 운반하여 조립하는 세그먼트 조립 공법이 박스 거더교의 경우에는 널리 사용되고 있다. IPC 거더교를 분절화하고 이를 현장에서 조립하는 공법은 이미 상당히 여러 가지 방법이 제안되어 시공되고 있다. 외국에서 이미 사용되고 있는 기술이 몇 가지 종류가 있으나, 보다 자세히 공학적으로 분류를 해보면 수십 가지의 방법이 가능한 실정이다. 본 연구에서는 설계와 시공 모든 면에서 최적인 분절부 전단단기의 형상과 연결방법을 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 실험체 설계 및 제작

현재 국내에서 건설되고 있는 대부분의 프리캐스트 세그멘탈 교량의 부재접합부에는 에폭시를 사용

* 정회원, 아주대학교 건설시스템공학과 정교수

** 정회원, 아주대학교 건설시스템공학과 석사과정

*** 정회원, 아주대학교 건설시스템공학과 박사과정

하고 있으며, 이에 반해 시공이 용이한 에폭시를 사용하지 않는 건식접합도 증가하고 있는 추세이므로 본 실험에서는 습식접합(에폭시접합)과 건식접합으로 나누어 두 가지 경우에 대하여 같은 시편의 실험을 실시하여 비교하였다. 또한 전단키의 형상을 단전단키, 이중전단키, 다중전단키, 평면접합등 여러 형태에 대하여 각각 같은 시험체를 2세트씩 실험하였으며 하나의 시험체는 그림 1과 같이 양방향으로 전단키를 두어 1회 실험 시 두개의 전단키에 대하여 평가할 수 있도록 하였다. 횡방향 구속력을 주기 위하여 시편의 양 끝에 강봉으로 연결된 H빔을 두어 실린더와 로드셀을 배치하여 횡방향 구속력을 가력하고 측정할 수 있도록 하였다.

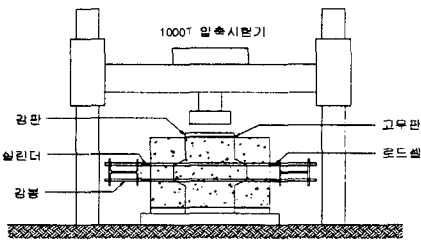


그림 1 시험체 가력 개념도

표 1 시험체별 실험 조건

	시험체명	에폭시 사용	철근배근	전단키	시편 개수
1	ER-D	○	○	이중전단키	2
2	ER-DR	○	○	역이중전단키	2
3	ER-M	○	○	다중전단키	2
4	ER-S	○	○	단전단키	2
5	ER-N	○	○	없음(평면)	2
6	EN-D	○	×	이중전단키	2
7	DR-M	×	○	다중전단키	2
8	DR-S	×	○	단전단키	2

시험체는 에폭시 사용의 유무, 철근의 배근의 유무, 그리고 전단키의 형태에 대하여 3가지로 분류하였다. 표 1은 각 시험체별 실험조건에 대하여 비교할 수 있도록 만든 표로서 시험체의 주어진 기호에 대하여 위의 예와 같이 시험체의 실험 조건을 보여 주고 있다. 시편의 종류는 그림 2와 같이 8가지의 시험체를 2세트로 총 16개의 시험체를 제작하였다.

본 실험은 횡방향 구속력을 시험체 양측에 배치된 로드셀과 실린더에 의해 30t을 가력하였으며 시험체 파괴시까지 하중을 재하하여 이에 따른 하중-변위곡선을 비교분석하였다. 횡방향 구속력은 DR-D 시험체(예비실험을 하기위해 제작된 건식접합의 철근배근된 이중전단키 시험체)의 횡방향력을 10t에서 50t까지 예비 실험한 결과 시험체의 내하력을 감소시키지 않는 범위내에서 최대의 횡방향 구속력을 30t으로 결정하여 본 실험을 수행하였다.

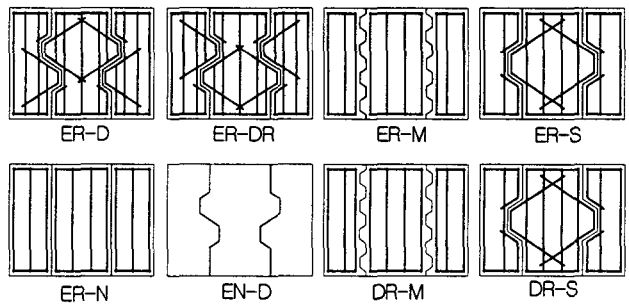


그림 2 시험체의 종류

3. 실험 결과 및 분석

실험 결과를 표 2에 정리하였다. 또한 그림 3(a), 그림 3(b)는 최대하중 값을 가진 시험체에 대하여 비교할 수 있도록 만든 그래프이다. ER-D시험체는 (a)와 (b) 모두 삽입하여 타 시험체에 비교에 있어 기준이 되도록 하였다. 그림 3(a)는 에폭시를 사용한 습식접합된 전단키의 형상에 따른 내하력을 비교한 그래프이며, 그림 3(b)는 에폭시 사용 무근 시험체와 에폭시를 사용하지 않은 건식접합된 시험체에 대하여 내하력을 비교한 그래프이다.

그림 3(a)의 경우 단전단키와 다중 전단키는 300kg/cm²이 넘는 극한하중값을 보이고 있으며 이중전단키는 280kg/cm²으로 앞의 두 시험체 다음으로 큰 값을 나타내고 있다. 역이중전단키는 250kg/cm²으

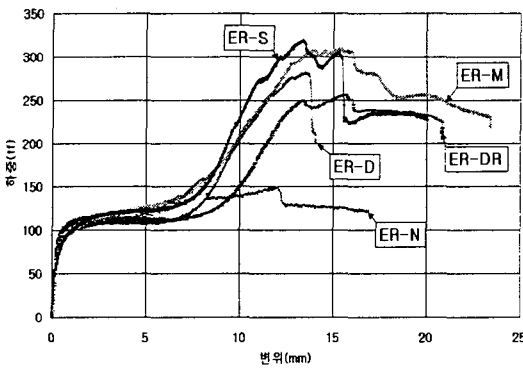
로 앞의 시험체들 보다 다소 작은 값을 보였으나, 전단키가 없는 ER-N 시험체는 완전소성 상태 이후 전단키에 의한 하중전달이 없으므로 기타 시험체들보다 현저히 낮은 150kg/cm² 정도의 극한 하중 값을 보이고 있다. 그러므로 저단키 유무에 대한 내하력의 비교시 크게 2배까지 차이를 보였으며, 반드시 전단키를 사용해야함을 증명하고 있다.

그림 3(b)의 경우 에폭시 접합 무근 시험체 EN-D는 264kg/cm²의 극한하중값을 보이고 있으며 이는 배근된 시험체 보다 6%정도의 내하력 감소를 나타내고 있으므로 철근이 전단내하력에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 에폭시를 사용하지 않은 단전단키와 다중전단키의 건식접합은 극한 하중값이 각각 293kg/cm², 286kg/cm²으로 에폭시를 사용한 습식접합과 비교시 뚜렷한 차이가 없으므로 에폭시에 의한 효과는 없는 것으로 나타났다.

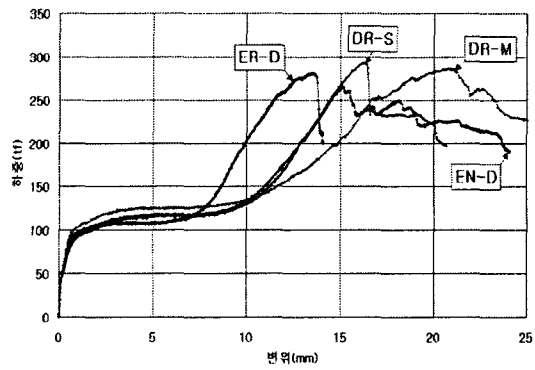
위와 같이 최소하중값의 시험체별 내하력을 비교분석한 결과 최대하중 비교와 같은 다중전단키의 경우 에폭시의 유무와 관계 없이 가장 큰 내하력을 보이고 있으며, 이중전단키, 단전단키, 역이중전단키, 평면 순으로 나타났다. 따라서 분절 거더의 전단키로 다중전단키가 가장 바람직한 것으로 판단된다.

표 3 시험체별 실험 결과표

시험체명	최대하중(tf)		횡방향 증가량(tf)		항복하중작용시 수직변위(mm)		최대하중작용시 수직변위(mm)	
	평균	편차	평균	편차	평균	편차	평균	편차
ER-D	274	13	19	13	1.8	0.6	15.3	3.5
ER-DR	246	20	18	4	1.8	0.1	14.6	2.2
ER-M	287	43	18	6	2.3	0.4	15.0	1.9
ER-S	270	98	15	6	2.0	0.7	13.5	0.2
ER-N	157	8	0	0	0.8	0.2	5.5	5.2
EN-D	252	23	16	1	1.8	0.7	17.6	3.1
DR-M	286		11		2.8		20.9	
DR-S	262	61	11	3	1.8	0.7	15.7	1



(a)



(b)

그림3 시험체별 최대하중 비교

4. 전단키에 대한 유한요소 해석

사다리꼴 전단키의 개수와 구속응력의 유무에 따른 응력의 변화를 MIDAS를 이용하여 해석, 비교하였다. 전단키가 1개, 2개, 4개인 경우에 대하여 해석을 수행하였으며, 하중 조건은 전단력만 작용하는 경우와 전단력과 압축력이 동시에 작용하는 경우에 대하여 해석을 수행하였다.

4.1 모델링

전단키가 없는 경우와 1, 2, 4개가 있는 경우에 대하여 그림 4와 같은 모델링을 하였으며, 전단키와 전단키 사이의 에폭시 층은 매우 작으나 해석과 모델링을 위하여 일정한 두께의 층을 갖는 것으로 가

정하여 모델링하였다. 하중은 전단력만 작용하는 경우와 전단력과 압축력이 동시에 작용하는 경우를 고려하였다.

4.2 해석결과

전단력과 압축력이 동시에 작용하는 경우 모든 응력성분은 전단력만 작용하는 경우 응력에 비하여 크게 증가하여 나타나고 있다. 특히 압축력이 가해짐으로 인하여 부재의 길이 방향에 수직인 방향(z 방향)의 인장응력이 부재의 상부에서 나타나고 있다. 그리고 이러한 부재의 길이 방향에 수직인 방향(z 방향)의 인장응력은 전단키의 모서리 부분에 집중이 되며, 전단키의 개수가 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 전단력과 압축력이 동시에 작용하는 경우에서도 부재 길이 방향(x 방향)의 응력이 부재의 길이 방향에 수직인 방향(z 방향)의 응력보다 큰 값을 가짐으로 인하여 주응력에 대한 응력분포는 부재 길이 방향(x 방향)의 응력분포와 유사한 경향을 보이며, 접합부에서 다중 전단키를 사용했을때의 전단강도가 다소 크게 나타남을 알 수 있었다.

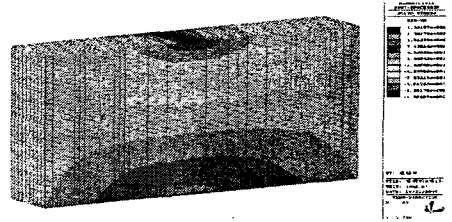


그림 4 모델링 형상

5. 결론

전단키의 내하력에 미치는 주요 변수들의 영향을 분석하기 위하여 실물 크기의 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 전단키의 하중-변형 거동은 횡하중에 영향을 받는 미끄러짐이 발생하는 항복전단내하력이 있으며, 이후 전단키의 최대전단내하력은 항복전단내하력의 250% 정도 되는 것으로 나타났다.
- 2) 전단키의 최대전단내하력은 다중전단키, 이중전단키, 단전단키, 역이중전단키, 평면 순으로 나타났으며, 분절 거더의 전단키로서는 다중전단키가 가장 바람직한 것으로 나타났다. 다중전단키는 전단키에 추가적인 배근이 필요없다는 점에서도 유리한 방식으로 판단된다.
- 3) 이중전단키의 경우 철근이 배근되어 있지 않은 경우는 철근이 배근된 경우에 비하여 9% 정도의 내하력의 감소가 있으므로 철근이 전단내하력에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있으며, 이중전단키의 경우 역방향 내하력은 10% 정도 감소하는 것으로 나타나, 분절 설계시 전단키의 방향도 고려해야 하는 것으로 판단된다.
- 4) 접합부에 에폭시를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우를 비교해 보면 거의 차이가 없으므로, 현재 접합부에 사용하고 있는 에폭시는 효과가 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(C105A1010001-05A0501-00310) 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Abdel-Karim, A. M. and Tadros, M. K., "Design and Construction of Spliced I-Girder Bridges," PCI Journal, Vol.37, No.4, 1992, pp.114-122.
2. Lounis, Z., Mirza, M. S., and Cohn, M. Z., "Segmental and Conventional Precast Prestressed Concrete I-Bridge Girders," Journal of Bridge Engineering, Vol.42, No.3, 1997, pp.73-82.
3. 김광수, 서봉원, 박선규, "건식접합부를 갖는 multi spliced 주형의 거동에 관한 실험적 연구," 콘크리트학회 논문집, Vol.17, No.2, 2005, pp.229-236.