

# 원형강관에 부착된 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재의 정적실험

Static Tests of ㄱ Type Perfobond Rib Shear Connectors when using Steel Tube

이흥수\* 정철헌\*\* 최외호\*\* 김석기\*\* 유성근\*\*\* 김영호\*\*\*

Lee, Heung-Su · Chung, Chul-Hun · Choi, Wae-Ho · Kim, Seok-Ki · You, Sung-Kun · Kim, Young-Ho

## ABSTRACT

This paper summarizes the results of push-out test specimens with a new type of shear connector called ㄱ type perfobond rib. This connector is a flat steel plate with a number of holes punched through and strengthen rib's head part. According to experiment result, ㄱ type perfobond rib shear connector appeared that resistance force is increased than stud shear connector by 108% and perfobond rib shear connector by 26%. The results obtained indicate that the perfobond rib connector is a viable alternative to the headed studs. An appreciable improvement in the shear capacity of the connection was observed when additional reinforcing bars were passed through the perfobond rib holes. For composite beams with concrete filled steel tubes, ㄱ type perfobond shear connectors exhibit adequate ductility and substantially higher capacities.

### 1. 서론

본 연구에서는 기존에 합성형교에 많이 사용되던 전단연결재를 대체할 수 있는 그림 1.c에 나타난 수평전단내력이 뛰어난 perfobond 리브 전단연결재의 리브 상단에 플레이트 형상의 두부를 보완한 그림 1.d와 같은 새로운 형상의 전단연결재를 제안하였다. 국외에서는 perfobond 리브 전단연결재의 시공예(Leonhardt, 1987)가 소개되었으며, 1992년에 Veldanda와 Hosain에 의해 perfobond 리브와 스테드 전단연결재의 성능비교를 위한 push-out 실험이 수행되었다. 이후에도 최근까지 관련 연구가 지속적으로 수행되고 있지만, 지금까지의 모든 연구는 I형 플레이트 강거더에 대해서 이루어졌다.

본 연구에서는 새로 제안된 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재를 그림 1과 같이 원형강관 거더에 적용하여 push-out 실험을 수행하여 전단내력을 평가하였다. 또한, 기존에 I형 플레이트 강거더에 많이 사용되고 있는 스테드 전단연결재와 플레이트 리브 전단연결재, 최근에 다른 연구자에 의해서 연구가 진행중인 perfobond 리브 전단연결재 등을 그림 1에서와 같이 원형강관 거더에 적용하여 전단내력 및 하중-상대변위 특성을 비교하였다.

\* 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 박사수료

\*\* 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\* 정회원, 비비엠코리아(주)

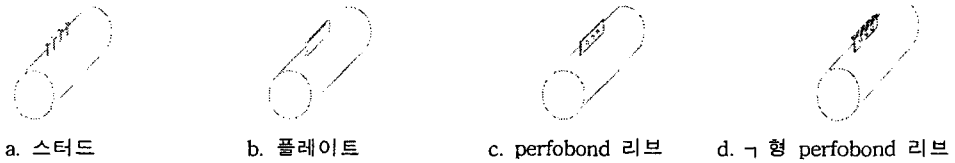


그림 1. 원형강관에 부착된 전단연결재 형상

2. ㄱ형 Perfobond 리브 전단연결재의 특징

Perfobond 리브 전단연결재는 설치과정이 거더의 보강재나 접합부 등을 시공하는 방법과 유사하며, 이 방법은 현장 기술자들에게 매우 익숙한 시공방법이다. 또한 표준화가 손쉽고 대량생산이 가능하며, 스테드 제작시 요구되는 복잡한 장비없이 어떤 장소에서나 소규모 제작장으로 생산이 가능하다. perfobond 리브 전단연결재는 스테드 전단연결재의 시공이 매우 어려운 그림 2와 같은 콘크리트 충전 강관(CFT) 거더에 적용시 시공성을 향상시키는 것이 가능하며, 본 연구에서 제안하는 ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재는 적은 수의 연결재로 큰 수평전단내력을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 스테드 전단연결재 적용 (b) ㄱ형 perfobond 리브 적용 (c) 적용 교량

그림 2. 충전강관 거더 합성형교

본 연구에서 제안된 ㄱ형 Perfobond 리브 전단연결재의 전단내력에 영향을 미치는 주요 원인은 콘크리트와 원형강관 접촉면인 부착면 확대에 따른 부착강도외에 그림 3에서 리브에 설치된 홈에서의 다웰작용(①, ②), 정착효과(③), 리브 머리 부분의 플랜지 설치로 인한 다웰효과(④), 홈에 설치되는 횡방향 철근의 전단강도(⑤), 전단연결재 밑에 있는 콘크리트의 할렬인장력의 저항(⑥) 등에 의해서 지배된다.

표 1. 시험체의 종류

명칭	연결재 형상	삽입 횡 철근 개수	홈 개수	홈지름 (mm)	리브높이 (mm)	극한하중 (tonf)
W-ST-I-0	stud	0	-	-		73.0
C-ST-I-0	stud	0	-	-		70.2
C-PL-I-0	플레이트	0	-	-	150	110.6
C-PB-I-0	perfobond 리브	0	3	50	150	116.9
C-PB-I-3	perfobond 리브	3	3	50	150	132.6
C-P1-I-0	ㄱ형 perfobond 리브	0	3	50	150	147.0
C-P1-I-1	ㄱ형 perfobond 리브	1	3	50	150	148.7
C-P1-I-2	ㄱ형 perfobond 리브	2	3	50	150	183.2
C-P1-I-3	ㄱ형 perfobond 리브	3	3	50	150	172.9
C-P4-I-3	ㄱ형 perfobond 리브	3	3	40	150	174.8
C-P5-I-3	ㄱ형 perfobond 리브	3	3	60	150	147.1
C-P6-I-3	ㄱ형 perfobond 리브	3	3	50	130	162.7
C-P7-I-3	ㄱ형 perfobond 리브	3	3	50	170	180.0

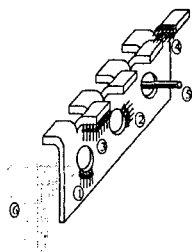


그림 3. ㄱ형 perfobond 리브 전단연결재의 전단저항

### 3. Push-out 시험체의 종류 및 제작

본 연구에서는 다양한 전단연결재 형식에 따른 전단저항 능력을 평가하고자 스티드, plate 리브, perfobond 리브 및 본 연구에서 제안한  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재를 적용한 원형강관 거더 전단시험체를 제작하여 push-out 실험을 수행하였다.  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재의 주요변수가 전단강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험체 제작시 홀의 직경과 리브의 높이를 고려하였다. 시험체에 대한 세부적인 사항과 극한하중을 표1에 나타내었다.

### 4. 실험 결과

상대변위는 시험체 상단부 양쪽에 2개의 LVDT 변위계를 설치하여 측정하였으며, 전단시험체에 적용하는 하중은 최대 200 tonf의 재하능력을 가진 MTS 유압식 재하시험기를 이용하여 재하하였다.

그림 4는 I형강에 스티드를 부착한 전단시험체(W-ST-I-0)와 원형강관에 스티드를 부착한 전단시험체(C-ST-I-0)에서 측정된 하중-슬립 곡선이다. 그림에서 보면 극한전단강도나 강성이 I형강 시험체가 원형강관 시험체에 비해서 큰 값을 보이고 있지만, 원형강관에 스티드를 사용하는 경우에도 충분한 극한내력 및 변형능력을 보여주었다. 따라서 원형강관 부재도 합성형 교량의 주거더로서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

원형강관 부재에 현재 합성형에 가장 일반적으로 이용되는 스티드(C-ST-I-0 시험체)와 plate 리브(C-PL-I-0 시험체), perfobond 리브(C-PB-I-0 시험체),  $\gamma$ 형 perfobond 리브(C-P1-I-0 시험체) 전단연결재를 적용하여 제작한 전단시험체의 하중-슬립곡선을 그림 5에 나타내었다. C-ST-I-0 시험체에 배치된 스티드의 개수는 perfobond 리브 연결재에 설치된 하나의 홀이 perfobond 리브 연결재 높이와 같은 하나의 스티드와 동등하다는 초기 가정하에 결정하였다.

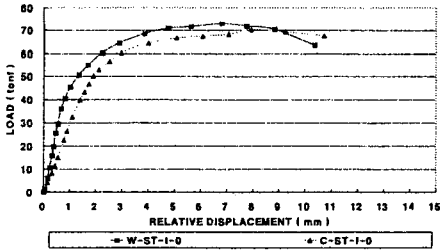


그림 4. I형강 및 원형강관시험체의 하중-슬립곡선

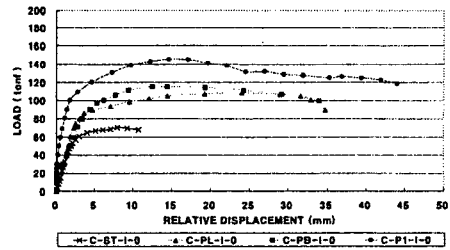


그림 5. 원형강관에 사용된 전단연결재 형태에 따른 하중-슬립곡선

그림 5에서 perfobond 리브 시험체가 스티드 시험체보다 대략 65% 내력이 증가하며,  $\gamma$ 형 perfobond 리브 시험체는 스티드 시험체에 비해서 약 108%, perfobond 리브 시험체에 비해서는 약 26% 내력이 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발된  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재가 연성능력 및 극한강도가 우수한 형태인 것으로 판단된다. 그림 5에서 보면 플레이트 리브에 홀이 설치되는 유무는 극한강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

그림 6은  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재의 홀에 횡방향 철근을 0개, 1개, 2개, 3개를 보강한 각 전단시험체의 전단시험에서 얻어진 하중-슬립곡선이다. 그림에서 보면, perfobond 리브 홀에 횡방향 철근이 2개(C-P1-I-2 시험체), 3개(C-P1-I-3 시험체) 보강된 경우 전단시험체의 최대 전단내력이 약간 증가하는 하나, 횡방향 철근수 증가에 따른 일정한 증가 경향은 보이지 않았으며, 또한 초기강성에서도 거의 유사한 결과를 보여주었다. 이는  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재에는 perfobond 리브의 머리 부분이 보강되어 상대적으로 홀에 설치되는 횡방향 철근의 영향이 작기 때문인 것으로 판단된다.

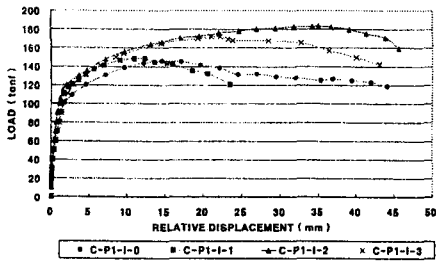


그림 6.  $\gamma$ 형 perfobond 리브 홀에 설치되는 횡방향 철근 개수에 따른 하중-슬립곡선

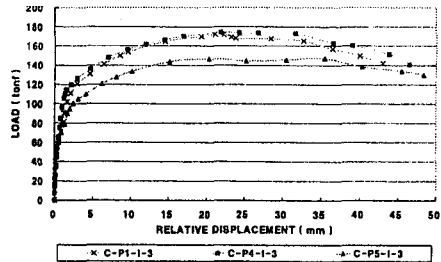


그림 7.  $\gamma$ 형 perfobond 리브 홀의 직경에 따른 하중-슬립곡선

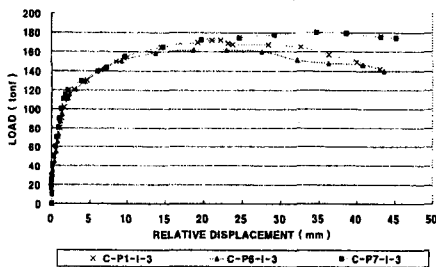


그림 8.  $\gamma$ 형 perfobond 리브 높이에 따른 하중-슬립곡선

증가시키고, 그림3(㉔)에서 전단연결재 아래의 콘크리트의 할렬인장력의 분포형상에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

그림 7에서  $\gamma$ 형 perfobond 리브에 설치되는 홀의 직경이 40mm와 50mm인 경우는 전단내력이 비슷한 수준이며, 직경이 60mm로 증가하면서 오히려 전단내력이 감소하는 경향을 보여주었다. 따라서  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재에 설치되는 홀의 직경은 최대골재직경을 감안하여 50mm정도가 적당한 것으로 판단된다.

그림 8에서 리브 높이가 증가함에 따라 전단내력이 약간은 상승하는 경향을 보여주었다. 이와같이 전단내력이 상승하는 것은 리브의 높이는 콘크리트의 전단파괴면을

## 5. 결론

본 연구에서는 새로운 전단연결재인  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재를 제안하고, 전단연결재 형태 및 주요변수에 따른 전단저항 능력을 평가하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

- 1) Push-out 실험을 통해서 기존에 많이 사용되던 전단연결재와 극한전단내력을 비교하여 본 연구에서 제안된 형식의 구조적 우수성을 검증하였다.
- 2) 스테드 전단연결재는 용접부나 전단연결재의 줄기 하단부의 파단에 의해 파괴되나,  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재를 갖는 시험체의 파괴는 바닥판 슬래브의 종방향 할렬균열에 의해서 시작되어  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전면 콘크리트의 압쇄에 의해서 발생되었다.
- 3)  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재에 설치되는 홀의 직경은 최대골재직경을 감안하여 50mm정도가 적당한 것으로 판단되며, 리브의 높이는 콘크리트의 전단파괴면을 증가시키고 전단연결재 아래의 콘크리트의 할렬인장력의 분포형상에 영향을 주어 전단내력에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 보면, 원형강관 거더에 사용된  $\gamma$ 형 perfobond 리브 전단연결재는 연성과 전단강도 측면에서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Leonhardt, F. et al. (1987) Neues vorteilhaftes verbundmittel fur stahlverbund-tragwerke mit hoher dauerfestigkeit, Betonund Stahlbetonbau.
2. Veldanda, M.R., and Hosain, M.U. (1992) Behavior of Perfobond Rib Shear Connectors in Composite Beams : Push-Out Tests, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 19(1), pp.1-10.