

# 콘크리트로 충지된 강·콘크리트 합성거더의 구속효과가 내부 전단연결부 강도에 미치는 영향

## The Confinement Effect on the Shear Stiffness of Inner Shear Connections in Concrete-filled Steel-Concrete Composite Girder

이 상 윤\*      김 정 호\*\*      이 승 용\*\*\*      박 경 훈\*\*\*\*      이 영 호\*\*\*\*\*  
Lee, Sang Yoon   Kim, Jung Ho   Lee, Seung Yong   Park, Kyung Hoon   Lee, Young Ho

---

### ABSTRACT

Researches on the steel-concrete composite girder filled with plain concrete have been being actively performed on the grounds that this type of girder has constructional, structural and aesthetical benefits. As a part of studies on the characteristics of inner shear connections in the concrete-filled steel-concrete composite girder with plain concrete, the confinement effect on the stiffness of inner shear connections was examined in this study. In the case of concrete-filled steel-concrete composite girder, it can be expected that the stiffness of shear connections may be increased in comparison with the case not confined. Therefore, the experimental studies were performed with the confinement effect as a parameter, and the results are discussed in this paper.

### 요 약

콘크리트를 강재 주형의 내부에 충전시킨 형태의 거더 형식은 구조적인 성능의 향상 이외에도 유지관리의 수월성과 외관상의 장점으로 인해 활발히 연구·개발되고 있다. 본 연구에서는, 내부를 무근 콘크리트로 충전한 형식의 강·콘크리트 합성 거더 형식의 내부 전단연결부 특성에 대한 연구의 일부로서, 외부 강재에 의한 구속효과가 내부 전단연결부의 강도에 미치는 영향을 검토하였다. 강재에 의해 구속된 콘크리트의 전단연결부는 구속효과로 인해 전단연결부의 강도가 증가하는 경향을 보일 것으로 예상되며, 이를 검토하기 위해 구속효과를 파라미터로 한 실험을 수행하였으며, 그 결과를 본 논문에서 보이고자 한다.

- 
- \* 정회원, 한국건설기술연구원, 복합구조연구실, 연구원
  - \*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 복합구조연구실, 책임연구원
  - \*\*\* 정회원, 충주대학교, 토목공학부, 교수
  - \*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 복합구조연구실, 연구원
  - \*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 복합구조연구실, 선임연구원

## 1. 서 론

최근, 강재와 콘크리트 재료의 특성을 보다 효율적으로 사용하기 위한 연구가 다양한 분야에서 수행되고 있다. 특히 교량분야의 경우에는 강재와 콘크리트를 합성한 다양한 형태의 교량형식들에 대한 연구들이 활발하게 이루어지고 있으며 많은 실제 교량에 적용되고 있다. 그 중에서도 콘크리트를 강재 주형의 내부에 충전시킨 형태의 거더 형식은 구조적인 성능의 향상 이외에도 유지관리의 수월성과 외관상의 장점으로 인해 보다 활발히 연구·개발되고 있다. 일반적으로 콘크리트를 강재 주형의 내부에 충전시킨 거더의 경우, 콘크리트가 구조재료로서 사용된다하더라도 외부의 강재에 의한 보강 및 구속효과로 인해 내부의 철근을 배근하지 않은 형식으로 적용된다.

합성구조의 경우 두 이질 재료의 중립축 위치의 차이로 인해 계면에 슬립이 발생할 수 있으므로, 합성거동을 보장하기 위해서는 전단연결을 위한 방안이 마련되어야 한다. 두 이질 재료간의 중립축 위치가 거의 동일한 위치에 있는 경우 휨 거동에 의한 계면의 전단력은 크게 발생하지 않지만, 건조수축과 같은 축방향 변형에 의한 비합성 거동이 발생할 수 있기 때문에 전단연결에 대한 고려가 있어야 한다.

내부를 무근콘크리트로 충전한 형식의 강·콘크리트 합성거더 형식의 경우, 합성거동을 보장하고 극한하중에 대한 강도 및 연성능력의 확보를 위해서 전단연결부에 대한 고려가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 사용되는 연성 전단연결재인 스티드 전단연결재에 의한 전단연결에 대한 연구를 수행하였다. 국내·외 설계기준(건설교통부, 2005; AASHTO, 2007)에 스티드 전단연결재에 대한 설계기준에 기술되어 있으나, 이는 철근이 배근된 바닥판 콘크리트와 강재주형에 대한 설계기준으로, 본 연구의 대상 구조물인 무근콘크리트에 대한 전단연결부의 설계기준으로서 부합하지 않는다. 따라서 무근콘크리트와 강재로 구성되는 합성거더의 스티드 전단연결재 설계에 대한 설계기준의 마련이 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 무근콘크리트와 강재 사이의 스티드 전단연결재에 대한 설계기준을 마련하기 위한 연구로서, 전단연결부의 강도식 산정을 위한 실험적 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 내부를 무근 콘크리트로 충전한 형식의 강·콘크리트 합성거더 형식의 내부 전단연결부 특성에 대한 연구의 일부로서, 외부 강재에 의한 구속효과가 내부 전단연결부의 강도에 미치는 영향을 검토하였다. 강재에 의해 구속된 콘크리트의 전단연결부는 구속효과로 인해 전단연결부의 강도가 증가하는 경향을 보일 것으로 예상되며, 이를 검토하기 위해 구속효과를 파라미터로 한 실험을 수행하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험체의 구성 및 제작

무근콘크리트로 충전된 합성거더 내부 전단연결부에 대한 강재에 의한 구속효과의 영향을 검토하기 위해 비구속 조건(N-M Series), 부분구속 조건(N-P Series)과 완전한 폐합이 이루어진 구속 조건(N-C Series)을 고려한 실험체를 제작하였다.

비구속 조건에 대한 실험체는 부분구속 조건과 구속 조건에 대한 실험체와 상대비교하기 위해 그림 1과 같이 일반적인 Push-out 실험체를 변형시켜 제작하였다. 강재에 의해 콘크리트에 구속압을 발생시키기 위해서는 강재의 단면형상이 볼록(Convex)한 형태가 되어야 한다. 강재 단면의 형상이 오목한 형상을 가지게 되면, 축방향력에 의해 콘크리트가 하중의 직각방향으로 팽창할 때 오목한 부분이 단면의 바깥쪽으로 면외 변형을 일으키게 되므로 구속효과를 기대하기 어렵다. 하지만, 강재의 단면이 오목한 형태라 하더라도, 전단연결재가 배치된 강판의 외각에 웨브와 같은 강판이 배치되어 있는 경우에는 연직방향으로의 구속효과는 기대하기 어렵지만, 횡방향의 구속효과는 발생할 수 있다. 이러한 이유로 부분구속 조건을 고려할 수 있도록 실험체를 제작하였다.

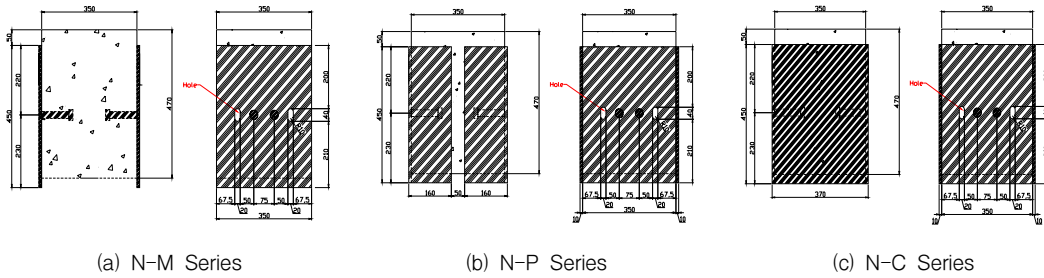


그림 1 실험체의 형상

실험체는 앞서 설명한 바와 같이 비구속, 부분구속, 완전구속과 같이 구속조건에 따라 구분하였으며, 이와 더불어 스티드 전단연결재를 이용한 전단연결부의 강성 및 파괴모드는 스티드 전단연결재의 형상비(직경/높이 비)에 따라 변화하므로 형상비를 크게 변화시킨 두 가지의 형상비로 구분하여 표 1과 같이 총 6가지 조건의 실험체를 각각 3개씩 제작하였다. 실험체에 사용된 강판은 10 mm 두께의 SM400을 사용하였으며, 충전된 콘크리트의 설계기준 강도는 40 MPa 이고 철근은 배근하지 않았다.

표 1 실험체의 종류

구속 조건 \ 직경/높이 (mm) (형상비)	16 / 120 (7.50)	22 / 100 (4.55)
비구속	N-M-40-1-2	N-M-40-3-1
부분구속	N-P-40-1-2	N-P-40-3-1
완전구속	N-C-40-1-2	N-C-40-3-1

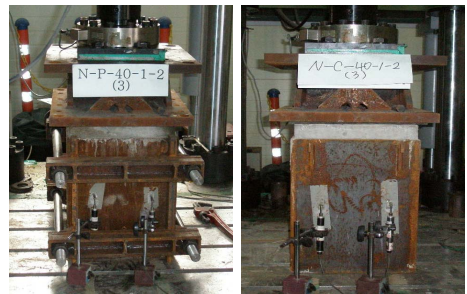
## 2.2 실험 방법

가력 방법은 강재에 하중을 재하 하는 일반적인 Push-out 실험과 달리, 압축력에 의한 콘크리트의 팽창시 발생하는 강재의 구속효과를 검토하기 위해 그림 2와 같이 콘크리트에 하중을 재하 하도록 하였다. 가력은 일정한 하중간격으로 Loading 과 Unloading을 반복하면서 재하 하였다. 하중을 재하 하면서 미리 설치된 상대변위 계측용 스티드에 변위계를 설치하여 변위의 변화를 계측하였으며, 비구속 실험체와 부분 구속 실험체는 하중의 재하 시 면외 변형이 발생할 우려가 있으므로 면외 변형을 방지하기 위한 보강 블록을 설치하여 실험을 수행하였다.

그림 2에서 변위계 지지점이 UTM의 베이스(Base)에 위치해 있으나, 스티드 설치 위치에서 발생하는 강판의 가력 방향 변위는 콘크리트 슬립량에 비해 매우 낮은 수준이라는 것을 예비실험을 통해 확인하였다. 따라서 UTM base에 지지된 변위계로부터 계측한 콘크리트의 변위는 상대변위라고 간주해도 무방하다고 판단하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

구속조건과 형상비를 변수로 한 Push-out 실험결과를 표 2에 정리하였다. 표 2에서 값이 기재되지 않은 부분은 실험체 제작 불량으로 인해 실험을 수행하지 않은 경우이다.



(a) 비구속/부분구속 (b) 완전구속  
그림 2. 실험 전경

또한 스테드 1본당 강도는 실험체에 스테드가 4개씩 설치되어 있어 평균하중을 스테드의 개수로 나눈 결과이다. 그림 3은 표 2의 결과로부터 강재에 의한 구속효과와 스테드 형상비를 고려한 스테드 1본당 강도의 변화를 나타낸 것이다.

그림3의 결과로부터, 구속효과가 커짐에 따라서 강도가 급격하게 커지는 것을 확인할 수 있으며, 형상비가 작은 경우에 강도가 더욱 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 실험 후 파괴된 형태를 검토한 결과로부터, 전단연결부의 파괴는 대부분 콘크리트의 균열에 의해서 발생하였기 때문에 형상비의 영향이라고 판단하기에는 무리가 있다. 이와 같은 파괴의 양상을 고려할 경우, 구속효과는 콘크리트의 활렬을 억제하는 효과가 있으므로 상대적으로 곡률이 작은 스테드를 사용한 경우에 보다 큰 효과가 나타난 것으로 판단된다.

표 2 최대 하중(kN) 및 스테드 1본당 강도(kN)

실험체 종류 \ 실험체번호	# 1 # 2 # 3			평균 하중	강도
	# 1	# 2	# 3		
N-M-40-1-2	356	345	-	350	87.6
N-M-40-3-1	546	549	-	547	136.9
N-M-40-1-2	621	520	526	556	138.9
N-M-40-3-1	630	623	-	626	156.6
N-M-40-1-2	869	821	871	853	213.3
N-M-40-3-1	857	882	879	873	218.2

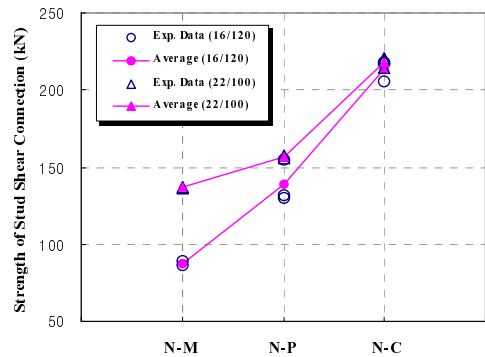


그림3. 강도의 변화 (구속조건, 형상비)

#### 4. 결론 및 향후 연구

강재에 의한 구속조건에 따른 무근콘크리트로 충전된 합성거더의 내부 전단연결부 강도의 변화를 검토하기 위해 실험을 수행한 결과, 구속효과에 의해 전단연결부의 강도가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 본 연구에서 고려하는 합성거더의 내부 전단연결부의 안전성을 향상시킬 수 있는 근거가 될 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 강재에 의한 구속효과를 전단연결부 설계에 반영하기 위해서는 보다 명확한 메커니즘을 규명할 필요가 있으므로, 향후 해석적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 건설교통부/한국건설교통기술평가원의 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심D14)과 (주)신성건설 연구·개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 도로교설계기준, 건설교통부, 2005
2. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 4th Edition, AASHTO, 2007