

축력과 힘을 받는 스티드볼트 접합부의 거동에 관한 실험적 연구

Behavior of Stud Connection Subjected to both Constant Axial and Various Bending Moments

김 승 훈* 이 태 석** 서 수 연*** 이 리 형**** 홍 원 기***** 백 승 대*****
Kim, Seung-Hun Lee, Tae-Seok Seo, Soo-Yeon Lee, Li-hyung Hong, Won-Kee Baik, Seoung-Dae

ABSTRACT

When the stud connection is considered as pin joint in the practical design, it is required to have high deformability. The rotational capacity as well as moment of the connection are evaluated through experimental works. Considered in the test are the reinforcement ratios of concrete member, the magnitude of axial force and connection details.

It is shown that the stud connection has some quantity of moment capacity but on the other hand it has low deformability. The strength and deformability of the connection depend on the axial force and reinforcements around the studs. The strength and ductility of the connection are increased by using closed C-type.

1. 서론

최근들어 스티드 볼트(Stud bolt)를 이용한 접합의 적용범위가 확대되면서 건축구조물의 콘크리트 기둥과 철골보의 접합, 콘크리트 전단벽과 철골보의 접합, 그리고 지하구조물의 콘크리트 띠장과 철골보의 접합 등에 사용되고 있다. 일반적으로 이러한 스티드 볼트 접합은 편접합으로 설계되어지지만 실제로는 소정의 내력을 갖는 반강접 접합일 경우가 대부분이다. 콘크리트 내에 배근된 철근(주근, 전단보강근 등)이 스티드 볼트를 구속하거나, 접합부 내에 축력이 작용할 경우, 그 내력은 더욱 증가할 것으로 예상되지만 이 경우, 실제 접합부는 그 성능이 과소평가되고 있다.

스티드 볼트 접합부를 핀으로 설계할 경우, 접합부에는 소정의 휨변형능력이 요구된다. 즉, 허용된 변

* 정회원, 한양대학교 대학원 박사과정

** 정회원, 한양대학교 대학원 석사과정

*** 정회원, 한양대학교 초대형구조시스템연구센터 연구조교수

**** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

***** 정회원, 삼성중공업(주) 건설부문 부장

***** 정회원, 삼성중공업(주) 건설부문 과장

형내에서 스테드 볼트 또는 콘크리트 부재에 심각한 피해가 없이 변형할 수 있는 능력이 요구되는 것이다. 스테드 볼트 접합부에 대한 기존 연구결과¹⁾에 의하면, 스테드 볼트 접합부는 인장에 대하여 취성파괴를 보이는 것으로 보고되고 있으며, 이에 따라, 스테드 볼트 접합부의 휨변형능력에 대한 평가가 요구된다 할 수 있다.

본 연구에서는 실험을 통하여 스테드 볼트 접합부의 휨성능을 파악하고, 특히 콘크리트 내에 배근된 철근과 접합부내에 작용하는 축력이 미치는 영향을 파악하고자 한다. 또한, 휨성능을 상승시킬 수 있는 접합부 상세를 제안하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험체 제작

축력과 휨을 받는 스테드 볼트 접합부의 휨거동을 평가하기 위하여 기존 실험체(BF-A)를 중심으로 압축력의 크기를 달리하는 2개 실험체, 주근비와 전단보강근비를 변수로 한 4개 실험체, 접합부에서의 변형능력 증진 또는 내력증진을 위한 2개 실험체 등 총 9개의 실험체를 제작하였다. 변형능력 또는 내력증진을 위한 보강상세는 개방형과 폐쇄형의 C형 철근이며, 실험체의 일람은 표 1과 같다.

표 1. 실험체 일람표

| 실험체명 | 축력 (tonf) | 주근 | 전단보강근 | C형 보강근 | 스테드 개수 ($\phi 13$ mm) | 비고 |
|-------|-----------|--------|--------------|-------------|------------------------|----------|
| BF-A | 30 | 5-D13 | $\phi 6@125$ | - | 4 | 기준실험체 |
| BF-C1 | 0 | 5-D13 | $\phi 6@125$ | - | 4 | 축력변화 |
| BF-C2 | 20 | 5-D13 | $\phi 6@125$ | - | 4 | 축력변화 |
| BF-D1 | 30 | - | - | - | 4 | 무근실험체 |
| BF-D2 | 30 | 10-D13 | $\phi 6@125$ | - | 4 | 주근변화 |
| BF-E1 | 30 | 5-D13 | $\phi 6@75$ | - | 4 | 전단보강근 변화 |
| BF-E2 | 30 | 5-D13 | $\phi 6@175$ | - | 4 | 전단보강근 변화 |
| BF-F1 | 30 | 5-D13 | $\phi 6@125$ | Closed Type | - | C형 보강근 |
| BF-F2 | 30 | 5-D13 | $\phi 6@125$ | Open Type | - | C형 보강근 |

철골 보는 H-300×150×13×9로써 $\phi 13$ 의 스테드 볼트 4개가 용접되어있다. 스테드 볼트가 묻히는 콘크리트 보 부재의 단면은 30 cm×40 cm이며 길이는 50 cm이다. C형 철근을 이용한 실험체는 스테드 볼트와 같은 직경을 가지는 HD13을 C형 모양으로 제작하여 스테드볼트 대신 H형강에 용접을 하였다. 주요 실험체 형상 및 배근상황은 그림 1과 같다.

2.2 재료 시험

표 2에 실험체 제작시 사용된 콘크리트의 압축강도 시험결과를 나타내었고, 표 3에 철근 및 스테드 볼트의 인장 시험결과를 나타내었다.

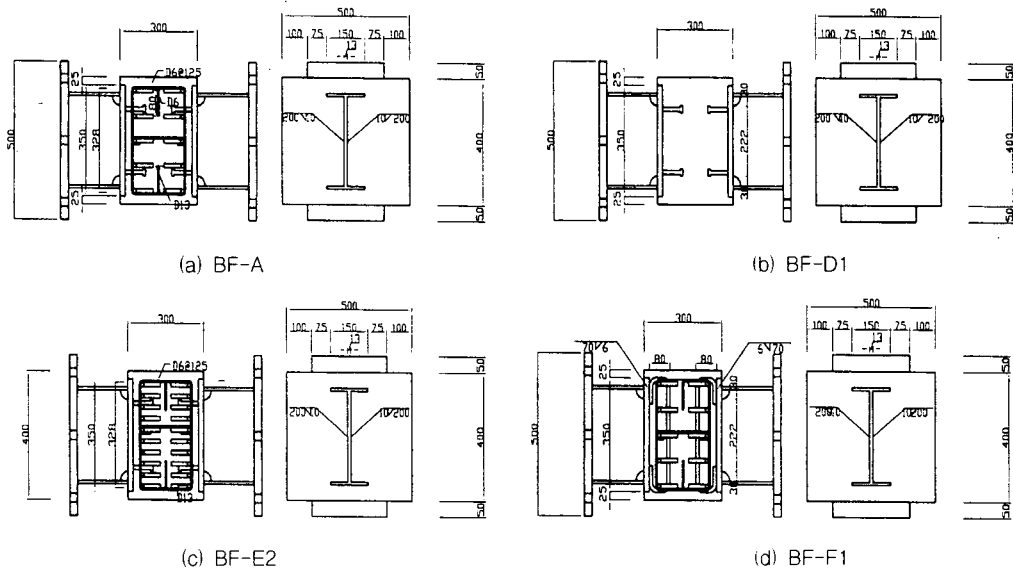


그림 1. 주요 실험체 형상 및 배근 상황

표 2. 콘크리트의 압축강도 시험결과

| 설계 기준강도 (kgf/cm^2) | 압축강도 (kgf/cm^2) | 보정된 압축강도 (kgf/cm^2) | 탄성계수 (tonf/cm^2) | 슬럼프 (cm) | 얇은 골재 (mm) |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------|------------------|
| 240 | 372 | 361 | 259 | 15 | 25 |

표 3. 철근 및 강재의 인장강도 시험결과

| 종류 | 구분 | 항복강도 (kgf/cm^2) | 인장강도 (kgf/cm^2) | 탄성계수 (kgf/cm^2) |
|--------------------|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| φ6 (띠철근) | 항복강도 | 7460 | 8918 | 2.11×10^5 |
| | 인장강도 | 7460 | 8918 | 2.11×10^5 |
| HD13 (주근) | 항복강도 | 4977 | 6321 | 2.06×10^5 |
| | 인장강도 | 4977 | 6321 | 2.06×10^5 |
| φ13×80 (스터드 볼트) | 항복강도 | 4078 | 5132 | 2.12×10^5 |
| | 인장강도 | 4078 | 5132 | 2.12×10^5 |

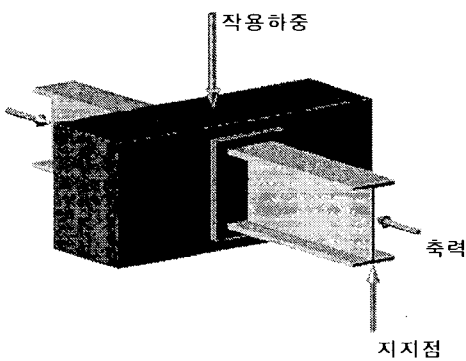


그림 2. 실험체 가력 개념도

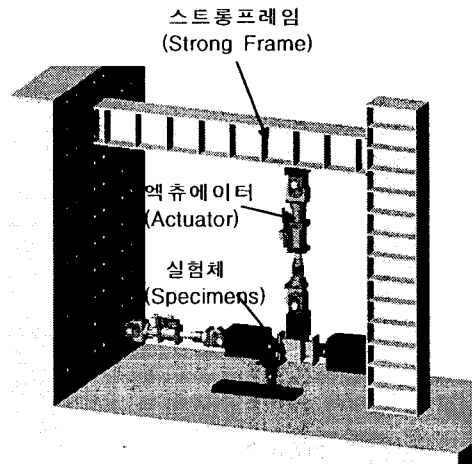


그림 3. 실험체 설치상황

2.3 가력 및 측정방법

실험의 가력개념은 그림 2와 같이 보에 일정한 압축력을 가력한 상태에서 콘크리트 보 중앙에 수직하중을 재하시켜 콘크리트와 철골보의 접합면이 파괴될 때까지 가력한다. 실험체 설치는 그림 3과 같이 양단 회전단으로 지지된 철골 보에 일정 압축력을 가하기 위한 50 tonf의 액추에이터(Actuator)를 스트롱 프레임(Strong Frame)에 수평으로 설치하였으며, 프레임상부에 수직하중을 가력하기 위한 100 tonf의 액추에이터를 설치하였다. 접합부의 수직변위를 측정하기 위하여 콘크리트 아래의 중앙부분에 LVDT를 설치하였고, 철골보 양단부의 회전각을 측정하기 위하여 4개의 LVDT를 설치하였다.

3. 실험결과 및 분석

축력과 휨을 받는 접합부의 실험결과에 의한 최대실험내력과 최대내력일 때의 변위 및 기준 실험체와 최대내력비를 표 4에 비교하여 나타내었다.

표 4. 실험 결과

| 실험체명 | 주근비 (%) | 전단보강근비 (%) | 최대내력 (tonf) | 최대내력에서의 변위 (mm) | 기준실험체와의 내력비 |
|-------|---------|------------|-------------|-----------------|-------------|
| BF-A | 0.53 | 0.15 | 24.7 | 5.64 | 1.00 |
| BF-C1 | 0.53 | 0.15 | 7.7 | 3.07 | 0.31 |
| BF-C2 | 0.53 | 0.15 | 20.2 | 4.92 | 0.82 |
| BF-D1 | 0 | 0 | 23.9 | 4.59 | 0.97 |
| BF-D2 | 1.06 | 0.15 | 25.8 | 4.85 | 1.04 |
| BF-E1 | 0.53 | 0.25 | 25 | 7.82 | 1.01 |
| BF-E2 | 0.53 | 0.11 | 24.7 | 4.27 | 1.00 |
| BF-F1 | 0.53 | 0.15 | 28.7 | 6.7 | 1.16 |
| BF-F2 | 0.53 | 0.15 | 24.3 | 4.96 | 0.98 |

3.1 압축력 크기 변화에 따른 영향

그림 4는 철골보에 작용하는 압축력의 크기가 0 tonf, 20 tonf, 30 tonf로 변화하는 실험체의 하중-변위 곡선을 비교한 것이다. 그래프를 보면 압축력이 증가할수록 비례적으로 접합부 휨강성, 최대내력, 최대내력일 때의 변위 등이 증가함을 알 수 있었다. 최대내력 이후 하중감소의 기울기는 압축력의 크기가 증가할수록 증가하였지만 증가폭은 작았다.

3.2 주근비 변화에 따른 영향

그림 5는 주근비가 0%, 0.53%, 1.06%로 변화하는 실험체의 하중-변위 곡선을 비교한 것이다. 그래프를 보면 주근의 변화에 따른 초기 강성의 차이는 나타나지 않았으며, 주근이 배근되어 있지 않은 무근실험체인 BF-D1 실험체 보다 주근이 배근되어 있는 실험체가 3% ~ 7% 이상 최대내력이 크게 나타났으며, 최대내력 시의 변위는 주근비가 높은 실험체일수록 크게 나타났다. 그러나 주근비가 클수록 접합부의 연성에는 영향이 없는 것으로 보여진다.

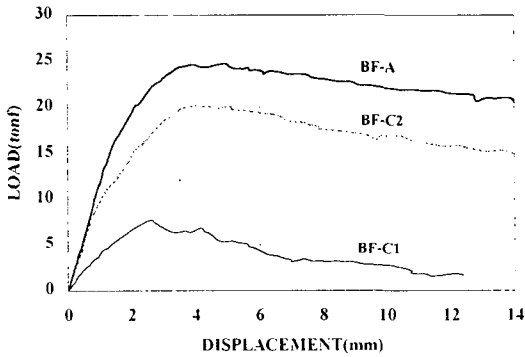


그림 4. 압축력 크기에 따른 하중-변위 곡선

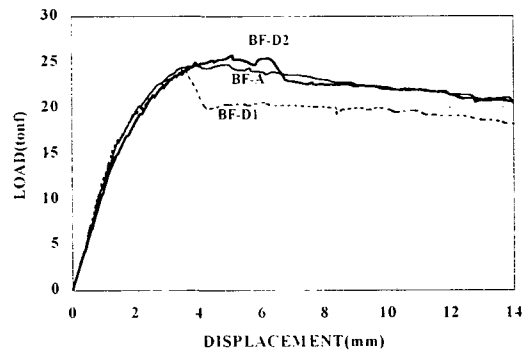


그림 5. 주근비에 따른 하중-변위 곡선

3.3 전단보강근비 변화에 따른 영향

그림 6은 전단보강근비가 0%, 0.11%, 0.15%, 0.25%로 변화하는 실험체의 하중-변위 곡선을 비교한 것이다. 그래프를 보면 전단보강근의 증가는 내력증가에는 영향이 미소하며 최대하중 이후의 하중감소 기울기 증가에 영향이 있음을 보여준다.

3.4 보강상세 변화에 따른 영향

그림 7의 그래프는 폐쇄형 및 개방형의 C형 보강근을 사용한 실험체와 기준 실험체의 하중-변위 곡선을 비교한 것이다. 그래프를 보면 개방형 C형 보강근을 사용한 BF-F2 실험체는 기준실험체와의 내력차이는 거의 없었지만 초기 강성면에서 효과가 있었다. 폐쇄형 C형 보강근으로 접합된 실험체 BF-F1 실험체는 초기 강성과 내력 증진에서 효과가 있었다. 이는 폐쇄형 C형 보강근이 콘크리트를 효과적으로 구속함으로써 내력증진에 기여하였음을 알 수 있다.

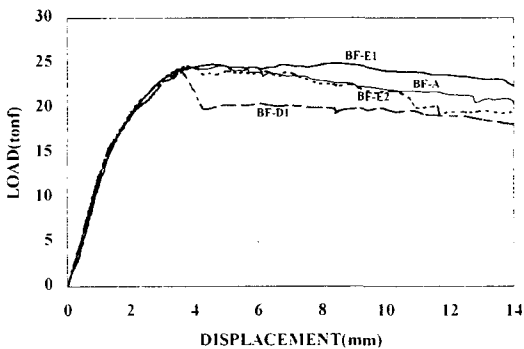


그림 6. 전단보강근비에 따른 하중-변위 곡선

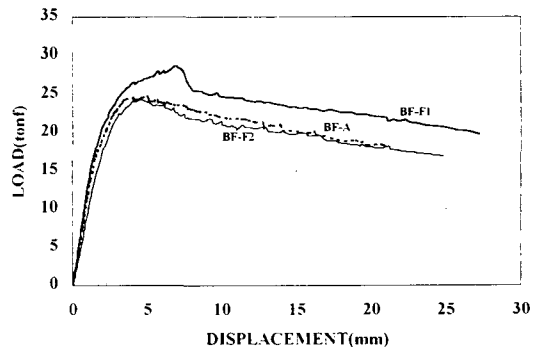


그림 7. 보강철근을 사용한 실험체의 하중-변위 곡선

그림 8에 기준 실험체의 최종파괴시 실험체 전면과 측면의 파괴상황을 나타내었다.

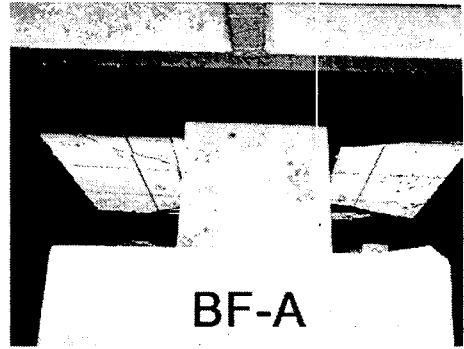
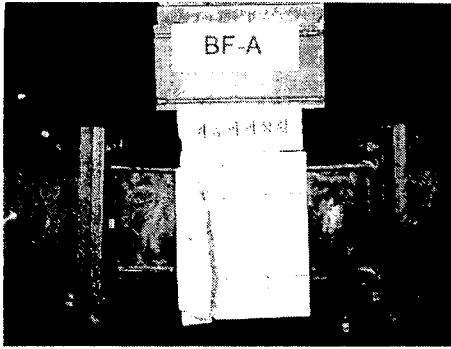


그림 8. 기준 실험체 최종파괴상황

4. 결론

축력과 휨을 받는 스테드 볼트 접합부의 거동에 관한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 접합부에 작용하는 압축력이 클수록 접합부의 휨강성, 최대내력, 최대내력일 때의 변위 등이 증가하였다. 또한, 대부분의 실험체에서 압축력에 의한 휨변형의 구속효과로 최대하중 이후에 하중의 급격한 감소가 발생되지 않았다.
- 2) 콘크리트 내에 배근된 주근비 증가는 접합부 휨내력 증가에 기여하였으며, 전단보강근비는 내력보다는 접합부의 최대내력 이후의 연성거동에 더 기여한다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 접합부의 초기강성을 향상시키기 위한 상세로는 스테드 볼트를 대신한 C형 보강근이 효과적이었으며, 개방형에 비하여 폐쇄형이 높은 내력을 보이는 것으로 나타났다.

5. 감사의 글

본 연구는 삼성중공업(주)과 한양대 초대형구조시스템연구센터의 연구비 지원하에 이루어진 연구의 일부로 이에 감사를 드립니다.

6. 참고 문헌

1. 이태석, 김승훈, 서수연, 이리형, 홍원기, 장재호, "인장력을 받는 스테드 볼트 접합부의 거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회, 2000년도 추계학술발표 논문집, 2000
2. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures", 1997
3. Eric, P. S. (1999), "Reliability Of Tensile Load Cast-in-Place Headed Stud Anchors for Concrete", ACI Structure Journal, May-June, pp.430-436
4. PCI, "PCI Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete", 1997
5. Shaikh and Whayong Y., "In Place Strength of Welded Headed Studs", PCI Journal, 1985.
6. UBC, "Structural Engineering Design Provisions", Vol 2 Section 1923, 1997