

헤디드 바와 강섬유로 보강한 Dapped Ended Beam의 구조 실험

Studies of Dapped Ended Beams with Disturbed Regions Containing T-headed bars and Steel fibers

최진혁*
Choi, Jin Hyouk

이창훈**
Lee, Chang Hoon

이주하***
Lee, Joo Ha

윤영수****
Yoon, Young Soo

ABSTRACT

This test program is to investigate the benefits of using headed bars to replace conventional stirrups and using steel fibers to reinforce in the disturbed regions in the dapped ended beam. This distribution of reinforcement was selected for aspects associated with the portion of beam section in bridge structures. The beams containing T-headed bars have a superior performance such as improved ductility, larger energy adsorption and enhanced post-peak load carrying capability. The capacity of DEB with steel fibers also show increase of ductility, shear strength, and crack.

1. 서론

응력 교란 구역을 가지는 Dapped Ended Beam은 일반 보에서 높이를 줄여 돌출시킨 끝부분을 가진 보로서 구조물의 공간 확보에 유리 하여 외국의 경우 교량이나 주차장에 많이 사용되고 있는 구조물이다. 주요 파괴 형태는 양쪽 지점 모서리 부분에 발생하는 사인장 균열 파괴 또는 철근의 부착 파괴 등으로 나타나게 되므로, 철근 정착시 상당한 주의를 요한다. 따라서 본 연구에서는 강섬유 및 T-헤디드 철근으로 보강 및 대체 하는 구조 실험을 실시 하였다. 인성, 인장강도, 휨강도, 균열 제어, 전단강도 증진에 우수한 효과를 보이는 강섬유를 모서리 단부에 보강하여 구속 능력을 증진시켜 지점부의 성능 향상을 도모 하였으며, T-headed 철근을 응력교란구역에 인장 철근 및 전단철근으로 보강 대체해 철근의 과밀 배근을 해소하여 시공성, 정착 성능 향상 및 철근의 완전한 항복을 유도함과 동시에 인성확보와 최대 하중에 견디는 우수한 성능을 확인 하였다.

2. 실험 계획 및 실험체 제작

본 실험에 사용된 철근에 대한 사항은 표. 1에 표시했으며, 시험체의 형상과 철근 상세는 그림.1 에 나타내었다. 본 시험체는 응력 교란 구역을 양쪽 지점부의 단부에 가지므로 스트럿-타이 모델을 구성 및 해석 하였으며 또한 콘크리트 구조 설계 기준, ACI 318-02, CEB-FIP(MC 90)의 기준에 부합 하도록 설계 하였다. 모든 실험체는 총지간 1,800 mm 이며 전단 지간비는 3.51 이고, 단면은 폭 200 mm, 깊이 300 mm로 유효 깊이는 250 mm 로 구성하였다. 시험체 S-1 시험체는 비교 시험체로 전 단면에 걸쳐 90° 표준갈고리를 사용한 D-10 전단 철근 ($A_s=71.3 \text{ mm}^2$, $d_b=9.53 \text{ mm}$)사용 하였다. 한편 양쪽 지점부의 응력 교란구역의 인장 철근의 경우에는 ACI 318-02, 철근콘크리트설계 기준에 준하여 $l_d = 380 \text{ mm}$ 를 확보하여 설계 하였다. S-2 시험체는 강섬유 보강으로 부재의 인성확보 및 전단 강도, 균열 감소의 효과를 확인하기 위해서 S-1 시험체와 철근 배근은 동일 하나 그 변수로서 양쪽 단부의 응력 교란구역에 강섬유(30@0.5 mm) 1% 혼입하여 타설 하였으며. S-1 과 S-2 시험체의 지점부는 인장 철근의 정착을 위해서 40 mm× 400 mm 앵글을 용접하여 사용

* 정회원, LG건설 기술본부 토목구조팀 사원

** 정회원, 고려대학교 방재과학기술연구소 연구원

*** 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

**** 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수

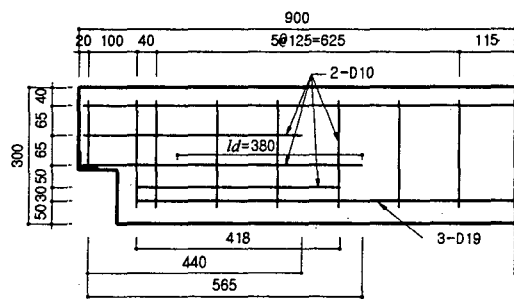
하였다.

한편, S-3 시험체의 경우에는 아래의 그림 1에서와 같이 응력 교란 구역에 해당하는 타이 철근 및 전단 철근을 모두 T-headed 철근으로 대체 보강하여 설계하였다. 특히 D-구역의 인장 철근을 ACI 352 규정에 의거해서 T-Headed 철근을 배근 하여 시험체 S-1 및 S-2 에 비해서 약 60%의 전달 길이만을 사용하여 철근 배근을 할 수 있다. T-Headed 철근은 CEB-FIP(MC 90) 제작 규정에 의거해서 용접제작 하였으며, 이는 대량 생산을 한다면 전달 길이의 감소 및 전단 철근으로 사용시 더 적은양의 철근 사용으로 더욱 큰 정착성능 및 전단력 증가에 기여 하며 경제적이라고 판단 된다. 한편 S-4 시험체는 S-3 시험체와 모든 철근 배근은 동일 하나 양쪽 지점부의 응력 교란 구역에 강섬유를 1% 보강 하므로써 강섬유에 의한 보강 효과와 T-Headed 철근에 의한 효과를 동시에 확인 하고자 하였다.

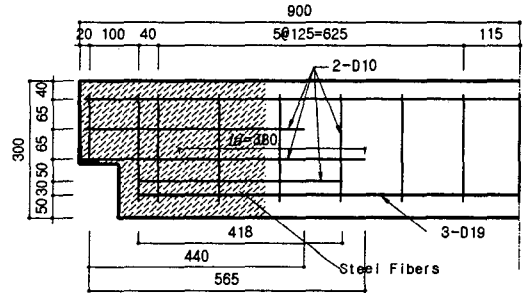
표 1. Detail of specimens

| Specimen Designation | Shear Bar (disturbed region) | Shear Bar (Bernoulli region) | Lengitudinal bar | | Span Length |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|--------|-------------|
| | | | Top | Bottom | |
| S-1 | 2-D10-C* | 2-D10-C | 2-D10 | 3-D19 | 1800mm |
| | @40 and 125 | @125mm | | | |
| S-2 | 2-D10-C | 2-D10-C | 2-D10 | 3-D19 | 1800mm |
| | @40 and 125 | @125mm | | | |
| S-3 | 2-D10-H** | 2-D10-C | 2-D10 | 3-D19 | 1800mm |
| | @40 and 125 | @125mm | | | |
| S-4 | 2-D10-H | 2-D10-C | 2-D10 | 3-D19 | 1800mm |
| | @40 and 125 | @125mm | | | |

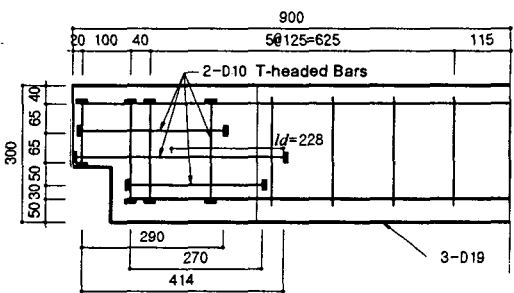
*C : Cross Ties, **H : Headed bars



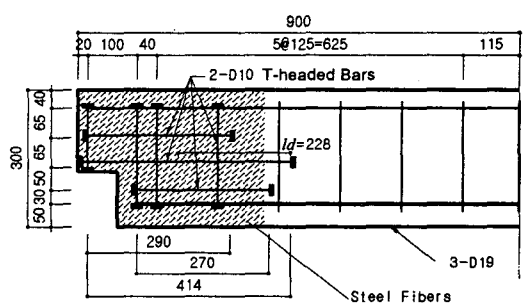
a) 시험체 S-1 (비교시험체)



b) 시험체 S-2 (단부에 Steel Fiber 보강)



c) 시험체 S-3 (T-headed bar 대체보강)



d) 시험체 S-4 (T-headed bar+Steel Fiber 보강)

그림 1. 실험체 철근 배근 상세

본 실험에서 콘크리트 강도는 30 MPa 이며, 철근 및 T-headed 철근은 모두 SD40 (400 MPa)을 사용 하였다. 지점조건은 양단 롤러 조건으로 Dapped Ended Beam의 중앙에 집중하중을 가하고 변위 제어방식으로 실험을 진행 하였으며, 응력 교란 구역의 인장 타이 철근 및 주인장 휨 철근에 설치한 스트레인 게이지는 U-CAM을 이용하여 철근에 발생하는 응력 및 보의 처짐, 균열 양상을 측정 하였다. 하중 재하에는

2800kN 의 MTS를 이용하여 종방향 변위 제어 방식 실험을 실시하였다.

4. 실험 결과

게이지의 부착 위치는 그림 2 에서 보는 바와 같이 양쪽 지점부의 응력 교란 구역에 위치한 인장부 철근에 하중의 수직 및 수평 방향으로 부착 좌우 대칭으로 총 20개의 게이지와 중앙경간의 휨 철근에 4개의 게이지 부착하여 총 시험체당 24개의 게이지 부착하였다.

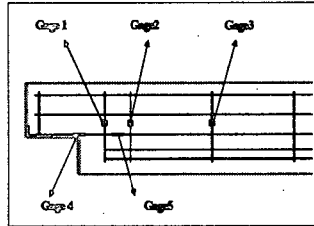
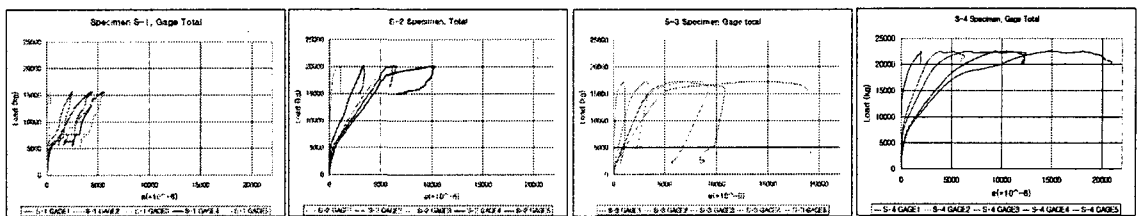


그림 2. 게이지 부착위치



그림 3. 실험 종료후 파괴 모양



a) 시험체 S-1

b) 시험체 S-2

c) 시험체 S-3

d) 시험체 S-4

그림 4. 실험체별 하중-변형률 곡선

S-1 시험체는 응력교란구역에 보강 없이 일반 철근만을 사용한 비교시험체로서 첫 번째 균열은 DEB의 양쪽 지점에서 약 3.94 ton의 하중에서 발생하였으며, 이때 중앙경간에서 처짐은 2.8 mm였고 하중이 4.5 ton 이상부터 지점부에 균열이 연이어 발생하였다. 설계하중인 11.5 ton에서는 여러 잔균열의 확장하여 최대 균열은 0.65 mm였으며 13.24 ton에서는 급격한 균열의 확장 및 증가하였다. 최대 하중인 15.81 ton 이후 하중이 급격히 감소하여 최대 하중의 50% 정도까지 급격히 떨어지는 결과를 나타내었다. 최대 하중 이후 이러한 급격한 파괴 및 하중의 감소는 인장 타이 철근의 불완전한 정착, 피복 콘크리트의 손실, 콘크리트의 Crushing 등의 복합 작용에 의한 것이다.

S-2 시험체는 응력교란구역에 강섬유 1%를 혼입하여 보강한 시험체로서, 첫 번째 균열은 DEB의 양쪽 지점에서 약 5.81 ton의 하중에서 발생하였고, 이때 중앙경간에서 처짐은 3.15 mm였다. 지점부에서 첫 균열생겼으며, 사용하중 11.5 ton에서 지점부에서 최대 균열은 0.45 mm였으며 점차 균열이 중앙경간에서 발달하여 0.6 mm로 확장되어 결국 휨 파괴로 이어졌다. 항복하중인 17.16 ton에서는 균열이 점차 확장되어 중앙의 처짐이 11.35 mm까지 증가하나, 더 이상의 지점부의 균열의 확장은 없었다. 최대 하중인 20.19 ton 이후 최대하중의 약 10% 정도 까지만 하중이 감소하고 철근의 응력이 많이 감소하였다. 이는 역시 철근의 불완전한 정착에 의한 것이나 강섬유의 혼입으로 지점부의 완전한 보강과 강섬유의 인성으로 인해 중앙의 휨 파괴로 이어지는 결과를 보였다.

S-3 시험체는 응력교란구역에 헤드바를 사용하여 완전한 정착 및 연성 파괴를 유도 하였는데 첫 번째 균열은 약 4.02 ton에서 나타났으며 이때 중앙경간에서 처짐은 1.558 mm였다. 지점부에서 첫 균열이 발달하여 지점부의 전단 파괴로 이어졌다. 설계하중인 11.5 ton 이후 콘크리트가 표면에서 떨어져 나가기 시작하였으며, 점차 CTT 절점부에서 콘크리트의 압축에 의한 Crushing 파괴가 되었다. 항복하중인 14.78 ton에서는 헤드바에 의한 Push out 현상이 나타나 지점부의 표면이 완전히 떨어져 나가는 현상을 보였으며, 최대 하중인 17.25 ton 이후 최대하중의 변화 없이 철근의 완전한 항복을 유도하여 인성이 증가 하였으며 지속적인 균열의 증가 하였다. 중앙 경간에서의 처짐량은 8.01 mm로 S-1, S-2 시험체에 비해서 적은 값을 나타 내었다. 성능이 향상된 말단의 구속효과 및 정착으로 표면의 Splitting 이후에도 좋은 인성을 보였다.

S-4 시험체는 응력교란구역에 헤드바와 강섬유 1%를 혼합하여 보강한 시험체로 첫 번째 균열은 약 6.65 ton 에서 턱진보의 한쪽 지점부에서 나타났으며 이때 중앙경간에서 처짐은 3.42 mm였고, 지점부에서 첫 균열이 발달하였으나 중앙 경간의 휨 파괴로 이어지는 실험 결과를 나타내었다. 설계하중인 11.5 ton 에서 처짐은 5.88 mm 이며 이 이후 점차 균열이 중앙경간에서 발달 확장 하여 결국 휨 파괴로 이어졌다. 이때 지점부의 균열은 발생이후 급격히 감소하는 경향을 보였고, 이는 강섬유의 인성과 헤드바의 정착에 의한 보강효과가 우수함을 나타낸다. 항복 하중인 18.09 ton 이후 헤드바에 응력이 증가하며, 한편 Mid Span 의 휨 절근에서 급격한 응력 증가 현상을 보였다. 최대 하중인 22.48 ton 이후 최대하중의 변화 없이 절근의 완전한 항복을 유도하여 인성이 증가 하였으며 계속적인 중앙 경간에서 균열의 증가 하였다. 처짐량은 22.63 mm 로 완전한 휨 파괴로 이어졌다.

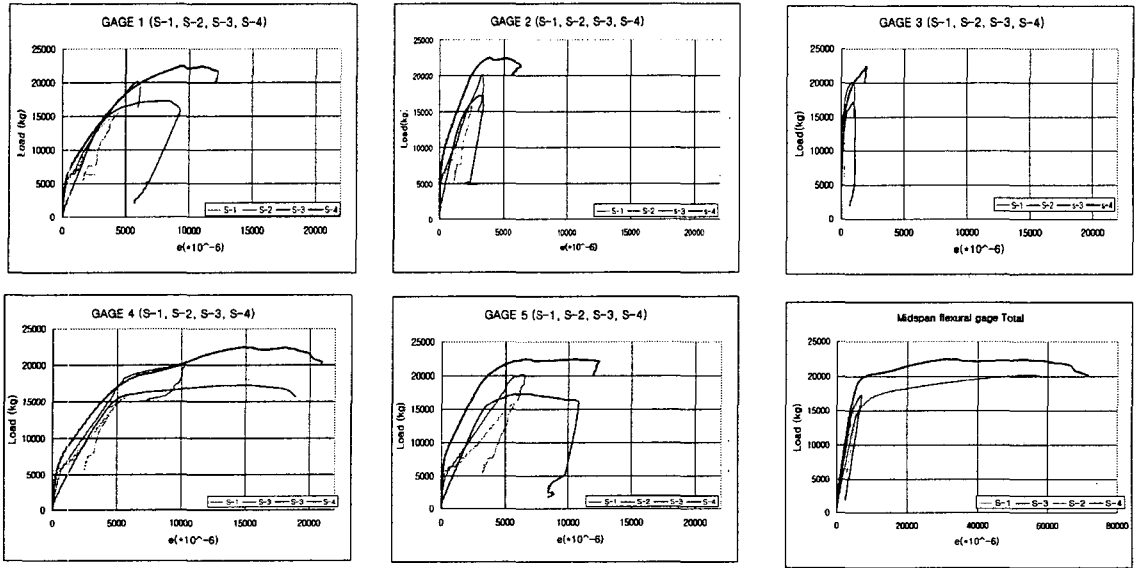


그림 5. 게이지 위치별 하중 변형을 곡선 종합

5. 결론

- 1) 헤드바의 사용으로 강섬유와 인성을 증대 시키고 짧은 정착 길이에도 뛰어난 정착 성능을 발휘 하여 구조물의 인성과 최대 하중에 견디는 우수한 성능을 확인 할 수 있다.
- 2) 강섬유로 보강된 시험체의 경우 인성 및 인장 강도 전단 강도가 증가 되었으며, 강한 구속 능력으로 지점부의 성능을 향상 시킨 결과를 얻을 수 있었으며, 휨 인성 작용으로 인장 강도가 증진되었고 절근으로 인장 응력을 전이 시키는 결과를 얻었다.
- 3) 응력 교란구역의 설계 및 시공시 강섬유와 헤드바를 활용하여 시공성 향상과 강도 증진에 효과적이며 경제적인 구조물을 건설 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실사업 연구비지원(M10204000031-04J0000-01910)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. ACI Committee 318 (2002) Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI 318R-02), American Concrete Institute, Michigan.
2. Peter J. McHarg.; William, D.Cook.; Denis Mitchell.; Young-Soo Yoon;," Benefits of Concentrated Slab Reinforcement and Steel Fibers on Performance of Slab-Column Connections', ACI Structural Journal, V.97. No.24 March. - April. 2000, pp.225-234.