

유리섬유보강재를 이용한 Deep Beam의 전단보강에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shear Strengthening of Concrete Deep Beams with Glass Fiber Sheets

조병완* 김영진** 김도**
Jo Byoung Wan Kim Young Jin Kim Do

Abstract

Recently, many researchers have performed R&D about strengthening of R/C with steel plates, carbon fiber sheets, aramid fiber sheets and glass fiber sheets, and so on. However most of research were limited in study of flexural strengthening of R/C beams. This paper shows the results of an experimental study on shear reinforcement of deep beams using Glass Fiber Sheet in relation to shear-span ratio, strengthening orientation and anchorage. The results prove that shear failure is governed by reinforced orientation, adherence and anchorage. Additional anchorage of fibers does not only cause the improvement in the internal resistance, but also control the brittle shear failure of specimen after reaching the maximum load.

1. 서론

현재 국·내외적으로 내하력 상실 및 사용하중의 증가 등으로 말미암아 기존구조물의 성능향상을 위한 R/C구조물의 여러 가지 보강공법 즉 보편적으로 콘크리트 보강재로 사용되는 강판 및 최근 신소재로 개발된 탄소섬유, 아라미드 및 유리섬유 등의 보강효과 및 보강후 보의 구조적 거동에 대한 연구가 활발히 이루어지고, 실용화 단계에 이르렀다. 그러나 대부분의 연구가 휨내력이 지배적인 일반보에 집중되어 있으며, 상대적으로 구조물 형상 및 상부구조물 등으로 인하여 정착길이 확보가 어렵고, 실제 취성파괴로 더 위험한 파괴양상을 보이는 깊은보의 전단보강에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 전단내력이 부족한 깊은보에 대하여 유리섬유시트로 전단지간, 섬유방향 및 섬유정착 유·무 등을 변수로 보강할 경우, 그 보강방법에 따른 보강효과를 실험적으로 비교·분석함으로써, 깊은보의 보강방법에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 부교수

** 한양대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험

2.1 시험체 제작

섬유보강시 전단보강효과 검증을 위하여, 휨철근을 D32-2EA 2단 배근으로 하였으며, 시험체 하부 지점부에서의 철근의 정착파괴를 방지하기 위하여 양단을 절곡하여 설계하였다. 또한, 시험체의 전단파괴를 유도하기 위하여 전단철근을 배근하지 않았으며, 재령 28일 후 섬유보강을 실시하여 7일간 양생한 시험을 실시하였다. 섬유보강재는 미국에서 수입되어 국내현장에 시공하고 있는 T사 일방향 직조 유리섬유 시트를 사용하여 전단지간, 섬유방향 및 정착 등의 실험변수에 맞추어 보강하였다. 시험체 제작에 사용한 콘크리트, 철근 및 보강재료를 표1에 나타내었다.

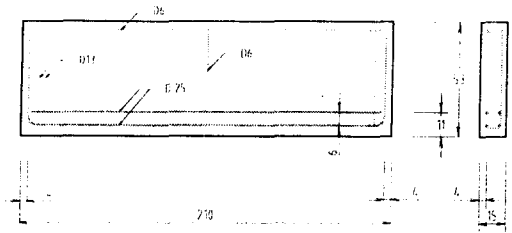


그림 1. 시험체 형상 및 치수

표1. 사용재료

콘크리트		
σ_{ck} kg/cm ²	굵은골재 최대치수	슬럼프
240	20 mm	13 cm
철근		
σ_s	E	규격
3,000 kg/cm ²	2.1×10^6 kg/cm ²	D6, D13, D25

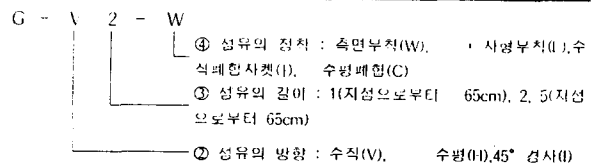
유리섬유				
인장강도 (kg/cm ²)	탄성률	섬유중량	파단 시신율	시공두께
28,000	2.8%	920 g/m ²	2.2 %	1.3 mm
에폭시				
극한인장강도	파단시신율	E		
552 Mpa	2 %	27,800 Mpa		

2.2 실험변수

기존섬유보강연구결과에 의하면, R/C구조물의 전단보강시 섬유의 정착길이를 충분히 확보하거나 구조물 전체를 감싸므로써 섬유의 박리에 의한 구조물의 급작스런 전단파괴를 방지하는 방법이 가장 효율적이라 할 수 있다. 그러나, 실제 전단보강을 필요로 하는 구조물들은 상부구조물 및 구조물형상 등으로 인한 작업공간에 제약이 많고, 특히 교각 등의 구조물은 변단면을 형성함으로써 충분한 정착길이를 갖도록 하거나, 수직 또는 수평으로 감싸는 방법으로 시공하기가 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 전단지간, 섬유의 방향 및 섬유의 정착방법 등을 실험변수로 사용하였다. 섬유의 정착방법으로는 보강재의 단부박리 및 전단균열면의 응력집중에 의한 보강재 박리를 억제하기

표1. 실험변수

시험체명	보강방법
CON-1	무보강
G-V1-W	수직보강 + 보강길이(1V)
G-H1-W	수평보강 + 보강길이(1V)
CON-2	무보강
G-V2-W	수직보강 + 보강길이(2V)
G-V2-B	수직보강 + 보강길이(2V) + 앵커볼트
G-H5-C	수평폐합보강
G-H2-Ac	수평보강 + 보강길이(2V) + 섬유앵커
G-H2-B	수평보강 + 보강길이(2V) + 앵커볼트
G-H2-J2	수평보강 + 보강길이(2V) + 수직폐합스터럽
G-N2-S	스터럽 수직 · 수평보강 + 보강길이(2V)
G-I2-W	경사보강 + 보강길이(2V)
G-I2-L	경사c자형보강 + 보강길이(2V)



위하여 섬유앵커, 앵커볼트 및 폐합앵커자켓을 사용하였다. 실험변수별 보강형태를 표2에 나타내었다.

2.3 측정방법

하중재하는 100ton 용량의 Schimazu사 만능시험기를 사용하여 순지간을 190cm로 유지시킨 후 전단 지간(1V, 2V)별로 4점재하 방식으로 하중을 파괴 시까지 단조증가 시켰다. 각 하중별로 인장·압축철근, 콘크리트 및 섬유 주방향의 변형을 및 주응력과 처짐을 측정하였다. 특히 전단보강으로 인하여 균열의 진전상태를 관찰할 수 없는 시험체에 대해서는 초기전단균열 발생하중을 예상하기 위하여 전단 균열 예상구간의 처짐, 전단구간의 인장철근 변형을 및 콘크리트 변형률을 측정하면서 표면의 박리여부를 면밀히 관찰하였다.

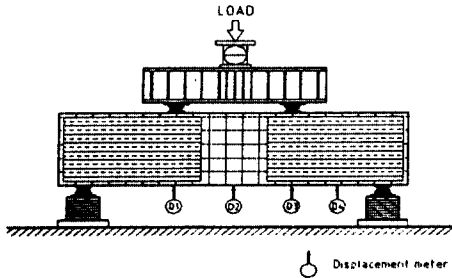


그림 2. 재하방법

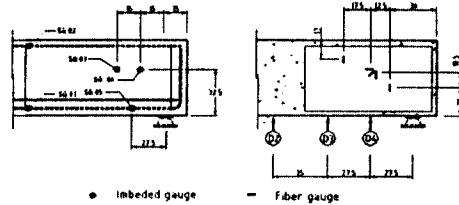


그림 1. 측정기기 부착위치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험체별 파괴양상

C-1의 경우 25.07ton에서 초기전단균열이 발생하여 하중이 증가함에 따라 지점과 하중재하점으로 균열이 진전되어 전단 파괴되었으며, G-V1-W 및 G-H1-W는 약 37ton 근처에서 전단균열이 발생과 함께 에폭시에 미세한 크랙이 발생한 후 균열면을 따라 박리면적이 증가하여 종국에는 에폭시와 콘크리트계면의 박리로 인하여 파괴되었다.

C-2의 경우 C-1과 마찬가지로 발생한 전단 균열의 진전에 의하여 전단 파괴되었으며, 수직·수평보강 시험체는 거의 모두 C-2의 초기 균열발생하중과 거의 유사한 시점에서 균열이 발생하여 균열면 주위의 섬유박리가 진전되어 종국에는 섬유박리로 인한 급작스런 파괴양상을 나타내었다. G-H2-B는 전단균열 발생후 앵커볼트 사이에 섬유박리가 진행되었으며, 종국

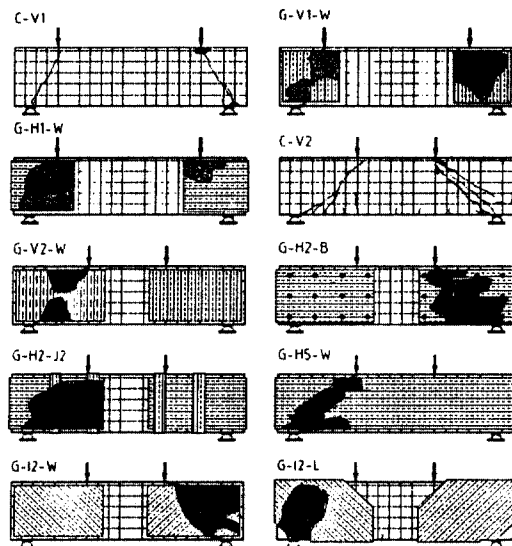


그림 3. 시험체별 파괴양상

에는 앵커볼트면의 섬유가 일부 파단되면서 박리가 급작스럽게 이루어졌다. G-H2-J2는 수평방향보강재가 박리가 진행됨에 따라 수직 폐합자켓이 수평방향보강재의 급작스런 박리진행을 억제하여 연성파괴양상을 나타내었다. 경사보강의 경우, G-I2-W는 섬유의 박리로 인하여 취성파괴되었으며, G-I2-L의 경우 초기전단균열 발생 후 종국에는 전단균열의 진전과 더불어 지점부가 지압 파괴되어 정확한 전단파괴 최대하중 값을 측정하지 못하였으나, 최대하중 작용시까지 측면 부의 섬유는 균열면을 따라 부분 박리되었으나, 상·하면의 정착부는 박리되지 않은 점으로 미루어 보아 보강효과가 클 것으로 예상된다.

표 3 시험체 별 전단균열 발생하중 및 최대하중

시험체명	Pcr (ton)	Pmax(ton)	보강효과(%)
CON-1	25.07	58.04	-
G-V1-W	37.13	78.31	34.92
G-H1-B	37.09	86.96	49.74
CON-2	24	49.9	-
G-V2-W	29	54.31	8.84
G-H2-B	26	56.79	13.83
G-H2-J2	28	56.28	12.83
G-H5-C	29	63.03	26.31
G-I2-W	26	62.02	24.25
G-I2-L	30	69.02	38.28

3.2 고찰

3.2.1 시험체별 전단균열 발생하중 및 보강효과

전단지간이 $a/d=0.5$ 인 시험체는 전단보강에 의하여 초기전단균열 발생을 억제하고, 보강효과가 뛰어난 반면에 $a/d=1.25$ 의 전단보강시험체는 모든 시험체가 표준 시험체와 유사한 하중에서 전단균열이 발생하였다. 이는 전단지간이 V2인 경우, 수직·수평보강은 전단균열 발생시 섬유의 미소박리가 발생하며, 전단균열 발생 후 균열의 폭이 증가됨에 따라 균열 부위의 섬유의 응력 집중에 따른 국부박리로 인하여 균열폭이 급격히 증가함으로써 큰 보강효과를 나타내지 못하는 것으로 판단된다. 균열방향에 직각으로 보강한 경사보강의 경우, 보강효과가 상대적으로 크게 나타났으며, G-I2-W와 G-I2-L의 비교에서도 알 수 있듯이 보강효과 증진 및 구조물의 안정성 측면에서 섬유에 의한 전단보강시 보강재의 정착이 보강효과 증진에 크게 기여함을 알 수 있다.

3.2.2 시험체별 처짐 및 인장철근 응력

47ton 전후에서 처짐이 급격히 증가하는 CON-2 무보강 시험체와 비교하여 초기 하중재하시 지점의 미소한 처짐이 발생한 G-H5-C를 제외한 모든 보강 시험체가 처짐 억제효과를 나타내었으나, 측면부착형태로 보강한 시험체는 최대하중 도달 후 섬유의 박리파괴로 인

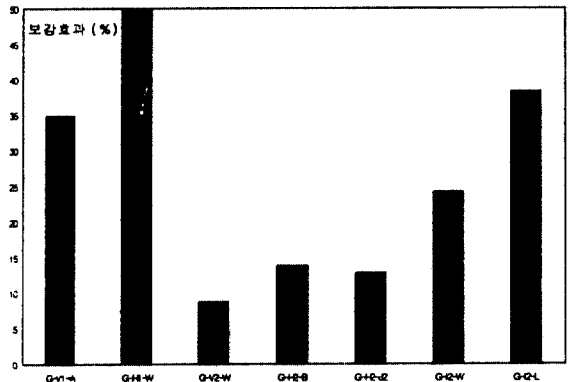


그림 5. 시험체별 보강효과

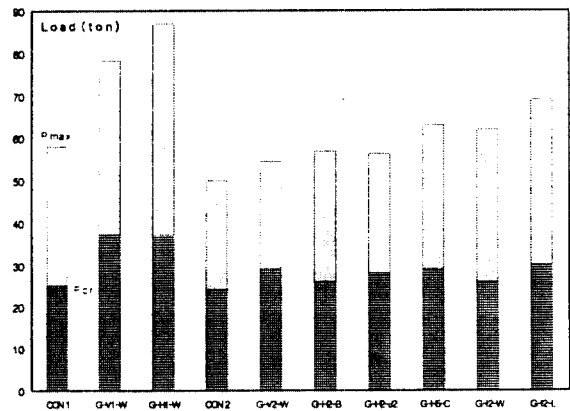


그림 6. 시험체별 전단균열 Pcr 및 Pmax

하여 처짐량이 급격히 증가하는 취성적인 파괴양상을 나타내었다. 그러나, G-I2-L 및 G-H2-J2의 경우, 최대하중도달 후 일시적인 처짐 증가현상을 나타낸 후 지점부의 지압파괴 및 수직폐합 스티럽의 slip현상과 함께 하중이 증가함에 따라 서서히 처짐이 증가하였다. 하중-인장철근 응력은 그림 7에 나타내었듯이 수직 및 경사 보강의 경우 표준 시험체와 거의 유사한 값을 나타내었다. 하지만 수평보강의 경우, 전단지간에 상관없이 처짐 제어 효과와 함께 인장철근의 인장응력을 감소시켰으며, 인장철근의 항복응력 이내에서 전단 파괴되었다.

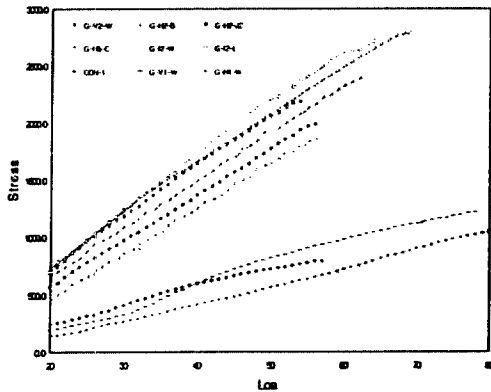


그림 7. 인장철근 응력곡선

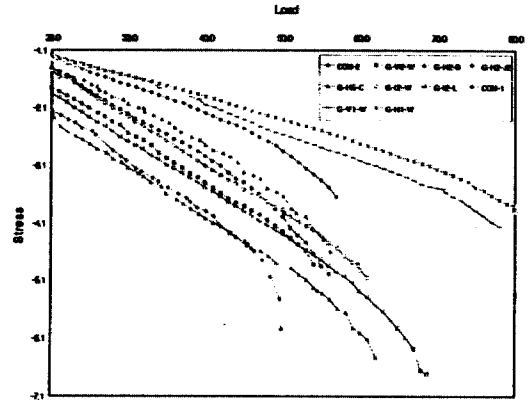


그림 8. 시험체별 처짐

4. 결론

보강된 깊은보의 정적실험 결과 전단지간, 섬유보의 보강방향 및 정착유무에 따라 보강효과와 파괴양상 및 구조거동에 차이를 나타내었으며, 실험변수별로 요약 정리하면 다음과 같다.

- ① 콘크리트의 초기전단균열 발생하중은 전단지간에 따라 상이하나, 섬유보강에 무관하게 거의 같은 하중에서 발생되었다. 이는 콘크리트 전단균열이 발생한 후 섬유보강이 보강효과를 발휘하는 것으로 추측된다.
- ② 전단내력이 지배적인 깊은보의 경우, 수직·수평방향의 보강형태보다는 균열면에 직각방향으로 보강시 보강효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.
- ③ 섬유의 충분한 정착길이를 확보할 수 있는 휨보강의 경우와는 달리, 측면보강의 경우 섬유파단강도에 도달하기 전에 박리가 시작되었으며, 박리된 콘크리트 표면에 에폭시의 함침흔적이 없는 것으로 미루어 볼 때, 보강재의 인장강도 및 에폭시의 전단강도와 함께 콘크리트강도가 박리억제에 기여할 것으로 추측된다.
- ④ 정착을 병행할 경우, 내력증진 뿐만 아니라, 최대하중 도달 후 취성적인 전단파괴를 억제하였다.
- ⑤ 전단보강시 섬유보강방향에 따라 전단내력 증진뿐만 아니라, 인장보강효과까지 발휘하였다.

참고문헌

1. T. M. Roberts et al 「Approximate Analysis of Shear and Normal Stress Concentrations in the Adhesive layer of Plated RC Beams」 The Structural Engineer Volume 67 No.12/20 June 1989
2. Ghazi j. Al-Sulaimani et al 「Shear Repair for Reinforced Concrete by Fiberglass Plate Bonding」 ACI Structural Journal July-August 1994 p458 ~ 464
3. 심종성 외 6인 「강판 및 탄소섬유sheet로 보강된 R/C보의 피로거동에 관한 연구」 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집. 제7권. 1호(통권 제12집). 1995. 13. pp319~324]
4. 심종성 외 3인 「흑트간성유보강 철근콘크리트보의 전단거동에 대한 실험적 연구」 한국콘크리트학회 제7권 5호 1995. 10.179 ~ 188
5. 심종성 외 2인 「손상된 R/C보의 보강 후 피로거동에 관한 실험적 연구」 대한토목학회 논문집 제 16권 제 1 -2호. 1996. 3. pp 135 ~ 142
6. 이창근 외 2인 「노후콘크리트 구조부재의 구조실험과 분석」 한국도로공사 1996 연구보고서
7. 정현수 외 6인 「탄소섬유, 아라미드섬유, 강판을 이용한 철근콘크리트 보의 내력보강에 관한 실험 연구」 청조엔지니어링 1996 연구보고서
8. Tom Norris et al 「Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheet」 ASCE July 1997 p903 ~ 911
9. Nobuhiro Hisabe et al 「Experimental Study on Carbon Fiber Sheet for Shear Strengthening」 International Conference on Engineering Materials June 8-11,1997