

철근콘크리트 T형보의 전단 보강 특성에 관한 연구

A Study on the Shear Strengthening Characteristic of Reinforced Concrete T-shaped Beams

김 정 섭¹⁾ 신 용 석^{2)*} 문 금 환³⁾ 유 명 환³⁾ 이 창 현³⁾
Kim, Jeong Sup Shin, Yong Seok Moon, Keum Hwan Yoo, Myeong Hwan Lee, Chang Hyun

Abstract

Most of studies on existing strengthening methods were mainly on increase of stiffness and strength of shear strengthening to rectangular beam.

As concrete of beam and slab is poured simultaneously on the characteristics of construction in reinforced concrete beam-slab structure, adjacent slab uniformed after hardening has T-shaped beam cross section which makes the flange of beam, enhances the stiffness of the beam and widens the area supporting compressive strength, but available data of flexural behavior of T-shaped beam are lacking.

In this research the T-shaped beams would be made, then the reinforced effects and structural properties can be estimated according to the kinds of reinforced materials and reinforced position. The conclusions are shown as below. To sum up the experimental results, The specimen which was reinforce by CB embedded inside of concrete indicated excellent resistive behavior, internal force and stiffness when it was destroyed. The steel plate reinforced specimen of stiffness and internal force were increase but it expressed lower reinforce effects because of lowering anchored force between concrete. Fiber sheet strengthening showed superior effects but the interfacial delamination was found due to the lack of anchored force in destruction. So the measure is needed now.

Keywords : Reinforced Concrete T-shaped Beam, Shear Strengthening

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 과하중, 피로하중, 사용 및 노출 환경의 변화 등 재료적, 시공적, 구조적, 환경적 요인에 의하여 노후화가 진행된다. 이러한 요인에 의해서 구조 부재의 내력과 사용성이 저하되면서 보강이 필요하게 된다.

철근콘크리트 부재의 구조적 보강은 보강재료와 공법에 따라 강판, 섬유시트 등을 부착하거나, 외부의 post-tensioning에 의해서 이루어지고 있으며 이중 강판 보강 공법은 보강 대상 구조물에 자중의 증가, 강판 부식 현상 등의 문제점이 발생할 수 있어 섬유 형태의 합성재 등의 연구가 진행되고 있다.

국내에서는 심중성이 FRP로 보강된 연구, 김정섭, 신성우, 신영수, 이리형 등은 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 전단강도에 대해 연구하였으며, 국외에서는 Al-Sulaimani가 유리섬유판을 이용한 전단보강에 대

하여 연구하였으며 Norris와 Saadatmanesh는 탄소섬유시트 보강, Triantafillou는 FRP 합성재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단 보강에 대하여 연구하였다.

이러한 보강에 대한 기존 연구는 대부분 장방형 보에 대한 휨 보강에 대한 연성 및 내력 증대에 대하여 주로 연구가 집중되었으며 전단보강에 대한 연구는 미비한 실정이다.

일반적으로 철근콘크리트 보-슬래브 구조는 시공의 특성상 보와 슬래브에 콘크리트가 동시에 부어넣기 되며 보와 슬래브는 경화 후 일체화 되어 인접한 슬래브는 보의 플랜지를 이루어 보의 강성을 높이고 압축응력을 지지하는 면적을 넓혀 주는 T형보 단면을 갖지만 기존의 연구는 슬래브가 없는 장방형 보에 대해 주로 이루어졌으며 T형보의 휨 및 전단 거동에 대해 유용한 자료는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 보의 내력 및 압축 구속력 증대

1) 정희원, 조선대학교 건축공학과 교수, 공학박사
2) 정희원, 조선대학교 건축공학과 겸임교수, 공학박사, 교신저자
3) 정희원, 조선대학교 건축공학과 박사과정

* Corresponding author : yonggari_8@hotmail.com 010-3606-5670
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2012년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

효과가 있는 철근콘크리트 T형보를 제작하여 철근콘크리트 T형보에 섬유시트(CFS, GFS), 탄소섬유막대(CB), 강판(Steel Plate ; 이하 SP) 등을 사용하여 전단 보강하였으며 전단실험을 통해 보강재별 보강 효과 및 거동, 구조적 특성을 파악한다. 철근콘크리트 T형보에 대한 적절한 보강방법을 검토하고 보강 설계 및 시공에 사용할 수 있는 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 실험계획

2.1 실험개요

본 연구에서는 철근콘크리트 T형보에 대한 현재 실무에서 주로 사용되는 보강재료별로 전단 보강을 실시하여 실험을 하였다.

철근콘크리트 T형보의 단면설계는 국토해양부 고시 건축구조기준(2009)에 의해서 Fig. 2와 같이 독립 T형보로 설계하였으며 추가 압축면적을 제공하는 플랜지의 두께(t_f)는 복부폭(b_w)의 1/2이상의 기준에 의해 플랜지 두께(t_f)를 100 mm로, 플랜지의 유효폭(b)은 복부폭(b_w)의 4배 이하의 기준에 의해 플랜지 유효폭(b)을 500

mm로 설계하였다.

철근콘크리트 T형보 실험체는 전단거동을 파악하기 위해서 강도설계법에 의한 콘크리트구조설계기준에 따라 휨에 대한 최대하중 300 kN, 전단에 대한 최대하중 150 kN 으로 휨과괴를 억제하고 전단과괴를 되도록 유도하였으며 Fig. 2와 같이 전단경간(a)는 700 mm, 유효깊이(d)는 352 mm, 전단경간비(a/d)는 2.0로써 500(b) \times 200(b_w) \times 100(t_f) \times 400(H) \times 2,400(L) mm로 철근콘크리트 T형보를 제작하였다.

보강재료별 보강 상세도는 Fig. 3과 같으며 섬유시트로 보강한 실험체는 전단 보강 철근비가 일정한 철근콘크리트 T형보에 섬유시트(CFS, GFS)를 사용하여 보의 측면

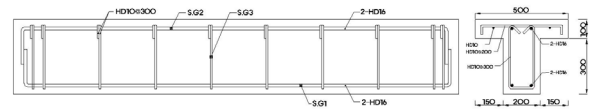


Fig. 2 Detail of specimens

Table 1 Configuration of Specimens

| Beam Type | Strengthening length | Strengthening method | Strengthening direction |
|-----------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| N | - | - | - |
| 1CFS | 0.8 ℓ | 1ply | Verticality |
| 2CFS | 0.8 ℓ | 2ply | Verticality |
| 1GFS | 0.8 ℓ | 1ply | Both side |
| 2GFS | 0.8 ℓ | 2ply | Both side |
| ACB | 0.8 ℓ | @300 mm | Verticality |
| BCB | 0.8 ℓ | @150 mm | Verticality |
| SP | 0.8 ℓ | 1ply | Both side |

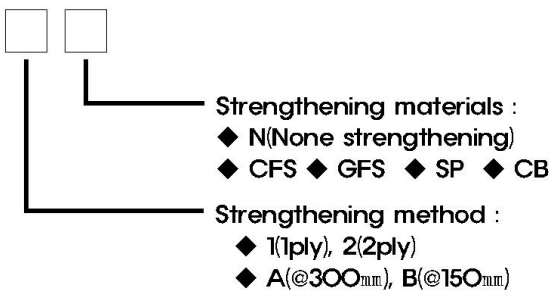
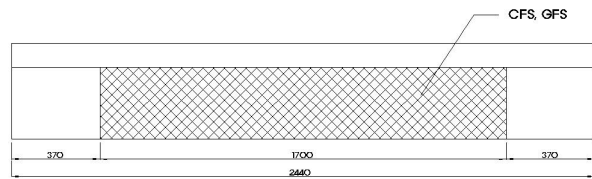
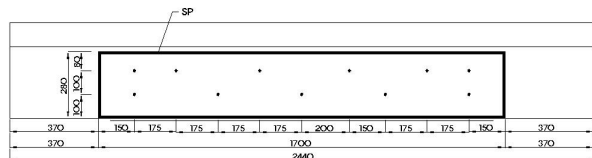


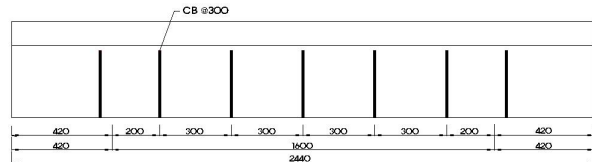
Fig. 1 Specimens index



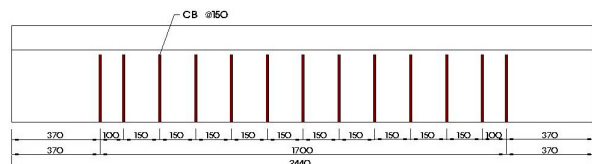
(a) CFS, GFS strengthening



(b) SP strengthening



(c) ACB strengthening



(c) BCB strengthening

Fig. 3 Strengthening details of specimens

에 보강접수에 따라 전단 보강을 실시한다.

강관 보강 실험체는 두께 4.5 mm의 강관을 사용하여 판재의 특성상 보강접수를 변수로 두지 않았으며 강관 보강 방법은 콘크리트의 표면 요철 제거 후 콘크리트 면에 정착앵커 구멍 뚫기를 하였다. 그리고 강관을 콘크리트 부착면에 앵커로 고정하여 에폭시를 충전하였다.

탄소섬유막대 보강은 두께 4×10 mm의 매입형 탄소섬유막대를 사용하여 보강 위치에 보강재의 간격(@150 mm, @300 mm)을 변수로 보강을 실시하였으며 탄소섬유막대 보강 방법은 먼저 콘크리트의 표면 요철 제거 및 탄소막대 보강 위치에 줄눈 작업을 후 탄소섬유막대 매입 부분을 커팅(Cutting)하여 홈을 형성하였다. 그리고 콘크리트와 탄소섬유막대의 부착을 위해 콘크리트 홈 부분에 프라이머를 도포하였으며 탄소섬유막대를 매입시킨 후 에폭시 도포 후 표면 고르기를 하였다.

보강재와 에폭시수지는 제조회사에서 공인시험기관에 의뢰하여 얻은 시험성적서의 물성값을 적용하였다.

예비실험에서는 강도별 기준실험체를 완전 파괴될 때까지 가력후 최대 내력을 파악하여 기준실험체의 최대내력으로 결정하였다.

2.2 사용재료

실험에 사용된 철근콘크리트 T형보의 철근은 HD10 (SD400), HD16(SD400)으로 KSB 0801과 KSB 0802에 따른 인장시험편을 제작하여 인장시험을 실시하였다. 각 철근의 인장시험결과는 Table 2와 같다.

실험에 사용된 콘크리트는 설계기준강도(f_{ck}) 21 MPa이며, 콘크리트 현장 배합시 발생할 수 있는 강도 오차를 줄이기 위해 Table 3과 같은 레디믹스 콘크리트를 사용하였다.

Table 2 Physical Properties of Deformed Bar

| Type | Cross sectional Area (mm ²) | Yield Strength (MPa) | Tensile Strength (MPa) | Elongation (%) |
|------|---|----------------------|------------------------|----------------|
| HD10 | 71.3 | 462.3 | 611.4 | 21.3 |
| HD16 | 198.6 | 438.9 | 617.8 | 22.2 |

Table 3 Mix Proportion

| f_{ck} (MPa) | W/C (%) | Unit Weight (kg/m ³) | | | | |
|----------------|---------|----------------------------------|------|------------------|-------|----------------|
| | | Cement | Sand | Coarse Aggregate | Water | Admixing Agent |
| 21 | 53 | 349 | 837 | 867 | 185 | 1.75 |

Table 4 Physical Properties of Strengthening Materials

| Type | Thickness (mm) | Modulus of Elasticity (MPa) | Tensile Strength (MPa) |
|------|----------------|-----------------------------|------------------------|
| CFS | 0.11 | 2.4×10^6 | 3,550 |
| GFS | 0.77 | 2.4×10^6 | 576 |
| SP | 4.5 | 2.1×10^5 | 240 |
| CB | 6 | 1.5×10^5 | 1,670 |

콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 D사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하며 굵은골재의 최대 직경은 25 mm의 쇄석, 잔골재의 조립률 2.86의 강모래를 사용하였다.

실험체의 보강재는 탄소섬유시트(CFS), 유리섬유시트(GFS), 매입형 탄소섬유막대(CB), 강관(SP) 등 국내에서 생산되는 것을 사용하였으며, 보강재료의 물리적 특성은 Table 4와 같다.

3. 실험방법

본 실험은 변수별로 보강한 실험체를 단순지지 상태의 내진 연속보의 형태로 설치하였다.

하중가력은 변위제어 방식으로 가력하여 DT1과 DT2의 위치에서 순수한 전단력을 받도록 보를 설치하였다.

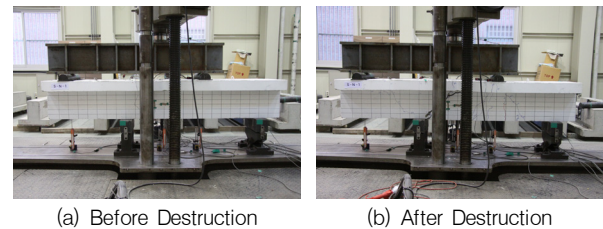


Fig. 4 Testing of Standard Specimen

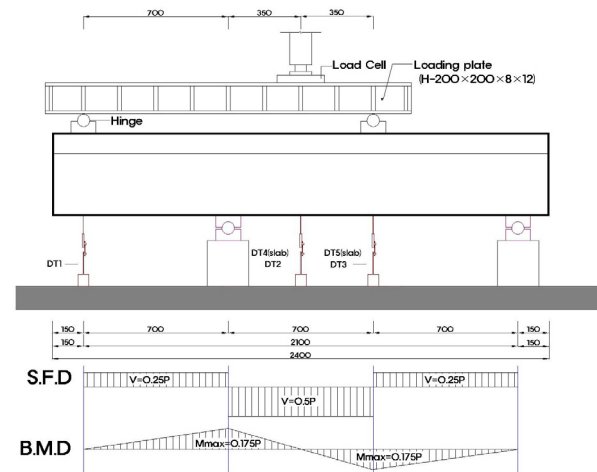


Fig. 5 Test Set-up

또한 가력된 상부에 Load cell을 설치하여 단계별 하중을 측정하였다.

실험체가 완전 파괴될 때까지 가력 후 극한 전단내력을 결정하였다.

균열의 진행 상황은 하중을 가력하면서 하중 단계에 따라 발생하는 균열을 유성펜을 사용하여 위치와 하중을 표시하면서 파악하였다.

4. 실험 결과

4.1 하중-처짐 관계

철근콘크리트 T형 보의 보강재별 전단 실험체의 실험 결과는 Table 5 및 Fig. 6과 같다.

철근콘크리트 T형 보의 보강재별 전단 보강한 실험 결과, 기준실험체의 최대하중 268.3 kN에 비해 전단 보강 실험체가 최대하중은 44.5~80.7% 정도 증가하였다.

보강 실험체중 SP 보강 실험체가 80.7% 정도 내력 증가율이 가장 높게 나타났으며, CFS, GFS, CB 전단 보강 실험체는 44.5~53.0% 정도로 유사한 내력 증가를 보였다.

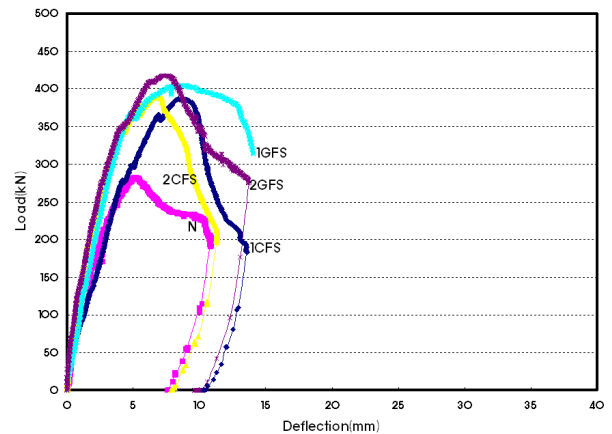
탄소섬유시트 보강 실험체별 실험결과, 1CFS 실험체의 최대하중은 387.7 kN으로 44.6% 정도, 2CFS 실험체의 경우 최대하중은 398.6 kN으로 48.7% 정도 기준실험체에 비해 증가하는 경향을 보였다.

유리섬유시트 보강 실험체의 실험결과, 1GFS 실험체의 최대하중은 389.3 kN으로 44.9% 정도, 2GFS 실험체의 경우, 최대하중은 410.6 kN으로 53.0% 정도 기준 실험체에 비해 높게 나타났다.

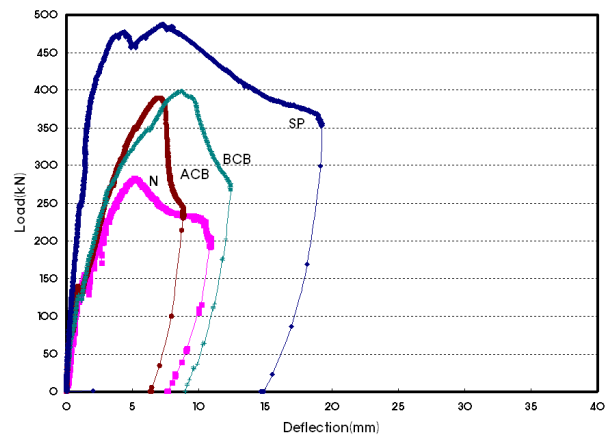
섬유시트 보강 실험결과를 종합해보면 보강접수에 증가에 따른 보강효과는 2.8~5.5% 정도로 다소 미비한 내

력증가를 보여 섬유시트 2겹 이상의 보강 보다는 1겹으로 보강하는 것이 경제적일 것으로 판단되며 섬유시트를 사용하여 보강 할 경우 충분한 부착강도의 확보와 섬유시트의 단부박리파괴를 방지할 수 있다면 내력 증대 효과는 클 것으로 사료되며 탄소섬유막대 보강 실험체의 실험결과, 기준실험체에 비해 탄소섬유막대 300 mm 간격으로 보강한 ACB 실험체의 최대하중은 390.4 kN으로 48.7% 정도 내력이 증가하였으며 탄소섬유막대 150 mm 간격으로 보강한 BCB 실험체의 경우, 최대하중은 406.8 kN으로 51.9% 정도 기준실험체에 비해 증가하였으며 탄소 섬유막대 실험체는 섬유시트 보강 실험체의 최대내력과 2% 정도의 유사한 내력 증가를 보였다.

강관 보강 실험체의 경우, 최대하중은 485.0 kN으로 기준실험체에 비해 80.7% 정도 내력이 증가하였으며 강관 보강 실험체와 다른 보강 실험체의 내력 증가를 비교했을 경우, CFS 보강 실험체에 비해 21.7% 정도, GFS



(a) CFS, GFS



(b) CB, SP

Fig. 6 Load-Deflection Curve of Specimens

Table 5 Summary of Test Results

| Beam Type | Ultimate Load | | |
|-----------|---------------|--------------------|------------|
| | P_u (kN) | δ_u (mm) | Load ratio |
| N | 268.3 | 5.4 | 100.0 |
| 1CFS | 387.7 | 7.9 | 144.5 |
| 2CFS | 398.6 | 7.7 | 148.6 |
| 1GFS | 389.3 | 5.9 | 145.1 |
| 2GFS | 410.6 | 7.4 | 153.0 |
| ACB | 390.4 | 7.1 | 145.5 |
| BCB | 406.8 | 9.6 | 151.6 |
| SP | 485.0 | 4.8 | 180.7 |

보강 실험체 비해 18.3% 정도, CB 보강 실험체에 비해 19.2% 정도 내력이 증가하였다.

4.2 보강 단면적에 대한 보강 효과

전단 보강 실험체의 보강 단면적에 대한 보강효과는 보강재의 인장강도(f_{tf})에 실험체의 전단 보강 단면적(A_f)을 곱하여 보강하중(P_s)을 구하였으며, 이를 P_{test} (기준 실험체별 극한하중 - 보강실험체별 극한하중)과 비교 하였으며 보강 단면적에 대한 전단 보강 실험체의 보강효과는 Table 6 및 Fig. 7과 같다.

탄소섬유막대 300 mm 간격으로 보강한 ACB 실험체가 108.8% 정도로 가장 높고 탄소섬유시트 2겹으로 보강한 2CFS 실험체는 27.8% 정도로 보강 단면적에 대한 보강효과가 가장 낮게 나타났다.

탄소섬유시트 보강 실험체별 보강 단면적에 대한 실험체의 보강효과는 1CFS 실험체 경우 50.9% 정도, 2CFS 실험체는 27.8% 정도로 1겹으로 전단 보강한 실험체 보다 54.6% 정도 높은 보강효과를 나타냈다.

유리섬유시트 보강 실험체별 보강 단면적에 대한 실험체

Table 6 Strengthening Effects by Strengthened Cross Section

| Beam type | f_{tf} (MPa) | A_f (mm) | P_s (kN) | P_{test} (kN) | P_{test}/P_s (kN) |
|-----------|----------------|------------|------------|-----------------|---------------------|
| 1CFS | 3,550 | 66 | 234.3 | 119.4 | 50.9 |
| 2CFS | 3,550 | 132 | 468.6 | 130.3 | 27.8 |
| 1GFS | 376 | 462 | 173.6 | 121.0 | 69.7 |
| 2GFS | 376 | 924 | 347.2 | 142.3 | 41.0 |
| ACB | 1,670 | 67 | 112.2 | 122.1 | 108.8 |
| BCB | 1,670 | 134 | 224.1 | 138.5 | 61.8 |
| SP | 240 | 1,260 | 302.4 | 216.7 | 71.6 |

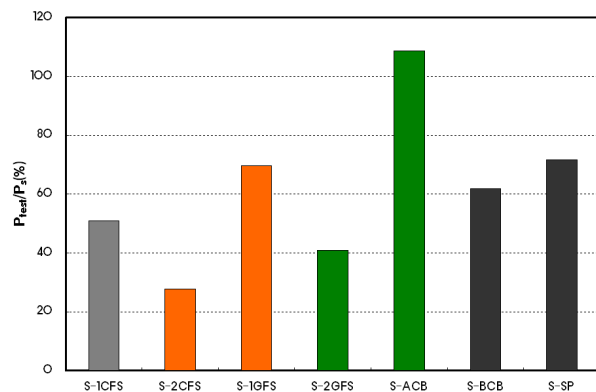


Fig. 7 Strengthening Effects by Strengthened Cross Section

의 보강효과는 S-1GFS 실험체는 69.7% 정도, S-2CFS 실험체는 41.0% 정도의 보강효과를 보였으며, 보강겹수에 따라 비교했을 경우 1겹으로 전단 보강한 실험체가 2겹으로 전단 보강한 실험체보다 58.8% 정도 높은 보강효과를 나타내어 앞의 CFS 보강효과와 마찬가지로 GFS도 보강겹수가 증가할수록 보강하는 콘크리트 모체와 섬유시트가 부착성이 떨어져 보강효과는 저하하는 것으로 나타나 보강겹수에 증가에 대한 부분감소계수 적용이 필요할 것으로 사료된다.

탄소섬유막대 보강 실험체의 경우, ACB 실험체는 108% 정도, BCB 실험체는 61.8% 정도로 다른 보강재에 비하여는 보강재인 탄소섬유막대와 모체인 콘크리트와의 일체 거동으로 보강 단면적에 대한 보강효과는 높은 경향을 보였게 나타났으며 앞의 섬유시트와 마찬가지로 보강재의 간격의 증가로 인한 보강단면적이 증가할수록 보강효과는 43.2% 정도 저하하는 것으로 사료된다.

강판 보강 단면적에 대한 실험체의 전단 보강효과는 71.6% 정도 증대되는 것으로 나타났다.

4.3 실험체의 파괴모드

보강재료별 전단 보강한 실험체의 파괴모드 및 전경은 Table 7 및 Fig. 9와 같다.

무보강 기준실험체와 보강재료별 보강한 실험체에 대

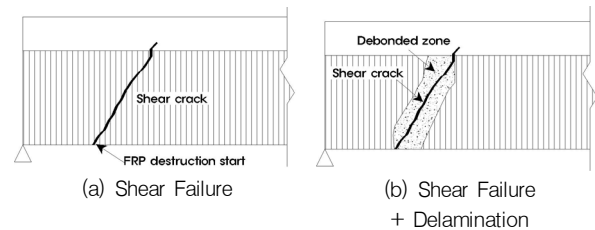


Fig. 8 The General Failure Mode

Table 7 Failure Mode of Specimens

| Beam Type | Failure Mode |
|-----------|------------------------------|
| N | Shear Failure |
| 1CFS | Shear Failure + Delamination |
| 2CFS | Shear Failure + Delamination |
| 1GFS | Shear Failure + Delamination |
| 2GFS | Shear Failure + Delamination |
| ACB | Shear Failure |
| BCB | Shear Failure |
| SP | Shear failure + Delamination |

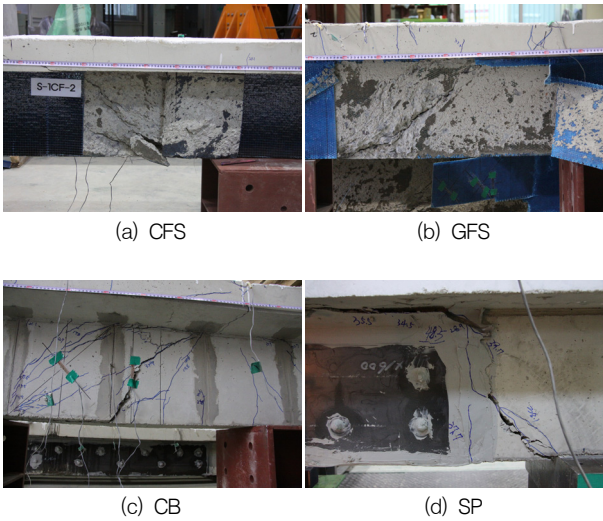


Fig. 9 Failure Phenomenon of Specimens

하여 실험 결과, 섬유시트와 강관으로 보강한 실험체 경우, 보의 중앙부 및 단부에서 가력 하중에 의한 전단균열로 인해 보강재가 박리되면서 파괴되었다.

탄소섬유막대 보강 실험체는 보강재의 파단 및 박리 없이 전단균열에 의해 파괴되었다.

4.4 강성 평가

본 연구에서 부재의 강성 평가는 하중-처짐 곡선의 기울기에 따라 초기강성(K_E)과 소성역강성(K_P)을 다음과 같이 정의한다.

$$K_E = (P_y) / (\delta_y) \quad (2)$$

$$K_P = (P_u - P_y) / (\delta_u - \delta_y) \quad (3)$$

여기서, P_u : 극한 하중 (kN)

P_y : 항복 하중 (kN)

실험체의 항복하중은 철근의 항복점이 명확하지 않아 부재실험에서 얻은 하중-처짐 곡선에서 탄성역의 초기강성을 연장한 직선과 소성역의 접선이 교차하는 점에서 수직선상의 하중을 항복하중으로 결정하였다.

보강 실험체중 강관 보강 실험체의 초기강성 및 소성역강성이 높은 경향을 보였으며 이는 판재의 특성 및 보강 단면적이 두꺼워서 초기강성 및 소성역강성의 증대가 가장 크게 나타났으며 섬유시트의 보강 겹수와 탄소섬유막대의 보강간격에 따른 보강량이 증가할수록 초기강성은

증대되었으며 소성역강성 경우는 증대된 내력 보다 처짐량이 증가하여 강성이 감소하는 경향을 보였다.

탄소섬유시트 보강 실험체의 강성의 경우, 보강겹수가 증가에 따라 초기강성은 14.6% 정도 증대되었으며 소성역 강성은 항복 이후의 내력 증가율에 비해 처짐 증가율이 증대되어 강성은 8.3% 정도 감소하는 경향을 보였다.

유리섬유시트 보강 실험체의 강성의 경우, 보강겹수 증가에 따라 처짐 증가율에 비해 내력 증가율이 감소하여 초기강성은 3.7% 정도, 소성역강성은 30.2% 정도 낮은 경향을 보였다.

탄소섬유막대 보강 실험체의 강성의 경우, ACB 보강한 실험체의 강성의 경우 기준실험체에 비해 처짐에 비해 내력이 증대되어 초기강성은 3.8% 정도, 소성역강성은 14.5% 정도 높게 나타났으며 BCB 보강 실험체의 강성의 경우 기준실험체에 비해 보강량이 증가로 처짐증가율에 처짐 증가율이 감소하여 초기강성은 2.1% 정도, 소성역강성은 25.5% 정도 낮은 경향을 보였다.

SP 보강한 실험체의 강성의 경우 기준실험체에 비해 처짐에 비해 내력이 증대되어 초기강성은 200.0% 정도,

Table 8 Stiffness of Specimens

| Type | KE | Test/Standard | KP | Test/Standard |
|------|-------|---------------|------|---------------|
| N | 69.9 | 100.0 | 23.1 | 100.0 |
| 1CFS | 76.0 | 108.7 | 21.6 | 93.3 |
| 2CFS | 87.1 | 124.6 | 19.8 | 85.9 |
| 1GFS | 88.1 | 126.0 | 33.4 | 144.5 |
| 2GFS | 84.8 | 121.3 | 23.3 | 100.7 |
| ACB | 72.5 | 103.8 | 26.4 | 114.5 |
| BCB | 68.4 | 97.9 | 17.2 | 74.5 |
| SP | 209.7 | 300.0 | 31.7 | 137.4 |

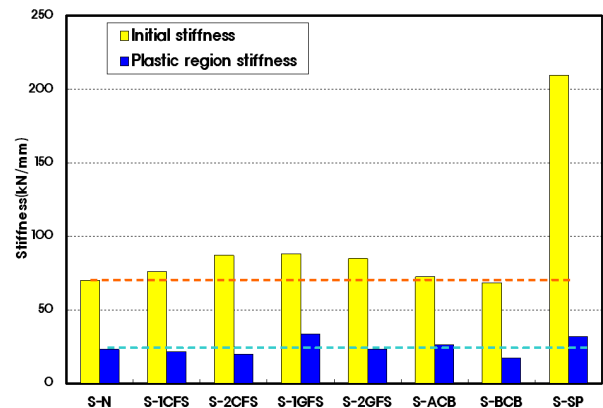


Fig. 10 Stiffness of Specimens

소성역강성은 46.1% 정도 높게 나타났다.

4.5 실험체의 실험값과 이론값 비교

본 연구는 전단 내력 평가시 섬유시트 및 강판 등의 연속보강과 탄소섬유막대와 같이 띠보강된 경우에 적용이 가능한 다음과 같은 ACI Code에서 제시한 표준식에 의해 전단 내력을 평가하였다.

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \psi_f V_f) \quad (1)$$

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \beta + \cos \beta) d_f}{s_f} \quad (2)$$

여기서, $A_{fv} = 2nt_f w_f$

V_f : 보강에 따른 공칭전단강도

A_{fv} : 보강재의 단면적

f_{fe} : 보강재의 인장응력

d_f : 보강재의 폭

β : 보의 부재 축에 대한 FRP 보강재의 섬유 방향 각도

s_f : 보강 간격

기존 연구자들은 FRP 복합체로 전단 보강된 철근콘크리트 보의 전단 보강효과를 콘크리트와 전단 보강근의 전단 부담분과 FRP 복합체의 전단 부담분의 합으로 계산된다고 발표하고 있다.

이에 따라 FRP 복합체에 의한 전단 보강효과(V_f)는 보강된 부재의 전체 전단내력, 즉($V_c + V_s + V_f$)에서 철근콘크리트 보의 전단내력($V_c + V_s$)을 차감하여 산정하는 것을 기본으로 하고 있다.

따라서 전단 보강에 따른 전단내력(V_f^{test})는 전체내력($V_c^{test} + V_s^{test} + V_f^{test}$)에서 전단 보강되지 않은 기준실험체의 전단내력($V_c^{test} + V_s^{test}$)를 차감하여 구하였다.

ACI 표준식의 보강재료별 전단 보강된 철근콘크리트보에 대한 내력 평가식에 따라 산출한 이론값(V_f^{cal})과 실험결과(V_f^{test})에 대한 비교는 Table 9와 같다.

이론값과 실험값에 대하여 비교한 결과, 이론값에 비해 1CFS 전단 보강 실험체는 103% 정도, 2CFS 전단 보강 실험체는 78% 정도의 실험값을 보였으며 보강겹수 증가에 따라 25% 정도의 실험값과 이론값의 차이를 나타냈다.

GFS 보강 실험체의 경우, 이론값에 비해 1GFS 실험체

Table 9 Compared with Theoretical Analysis

| Type | V_f^{test} (kN) | V_f^{cal} (kN) | $(V_f^{test}/V_f^{cal})(\beta_f)$ |
|------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1CFS | 59.5 | 57.7 | 1.03 |
| 2CFS | 65.2 | 84.1 | 0.78 |
| 1GFS | 60.5 | 56.0 | 1.08 |
| 2GFS | 71.2 | 76.5 | 0.93 |
| ACB | 69.1 | 1,053.5(107.0) | 0.05(0.65) |
| BCB | 69.3 | 3,061.0(214.1) | 0.02(0.32) |
| SP | 108.4 | 294.0 | 0.37 |

※ () : The shearing strength of ultimate design method

는 108% 정도, 2CFS 실험체의 경우 87% 정도의 실험값을 나타냈으며 보강겹수 증가에 따라 14% 정도의 차이를 보였다.

CB 보강 실험체의 경우, 이론값에 ACB 전단 보강 실험체는 5% 정도, BCB 전단 보강 실험체는 2% 정도의 실험값을 보였으며 이는 전면이 보강되는 섬유시트와 강판에 비해 전단철근과 같이 매입됨에 따라 다른 보강재에 비해 실험값과 이론값이 큰 차이를 보이는 것으로 사료된다.

CB 보강에 의한 전단강도(V_f^{test})를 강도설계법의 V_s 으로 전단강도를 산정 결과, 이론값에 비해 ACB 전단 보강 실험체는 65% 정도, BCB 전단 보강 실험체는 32% 정도의 실험값을 보여 탄소섬유막대 보강에 의한 전단강도 산정시 ACI 표준식 보다는 강도설계법의 V_s 개념으로 전단강도를 산정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

SP 보강 실험체 경우는 82% 정도 이론값이 실험값보다 높게 나타났다. 이는 보강재의 강도는 큰데 반해 강판과 콘크리트 모체와의 부착성의 저하 때문인 것으로 사료된다.

ACI Code의 전단내력에 대한 이론값과 실험값을 비교한 결과, 보강재 겹수 증가와 보강 간격에 따른 보강의 부착성 저하로 인해 실험값이 이론값에 비해 8~98% 정도의 차이를 보여 보강재의 종류 및 보강겹수, 보강 간격에 따라 0.21~1.08 정도의 부분조정계수(β_f)의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 철근콘크리트 T형보를 제작하여 보강재 종류별로 전단보강을 실시하여 보강효과 및 구조적 특성을 파악하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전단 보강 실험체별 내력증가는 모든 보강 실험체가 기준 실험체보다 46.7~80.8% 정도 높게 나타났다.
- (2) 보강 실험체의 파괴 성상은 CFS, GFS 보강 실험체는 단부에서, SP 보강실험체는 보강재 주변에서 전단균열에 의해 보강재가 박리되면서 파괴되었다. CB 보강실험체의 경우 중앙부의 전단균열에 의해서 파괴되었다.
- (3) 보강 실험체의 초기강성은 전단 보강으로 인해 부재 항복 전의 처짐의 감소로 기준실험체에 비해 증가하였다. 소성역강성은 GFS 보강 실험체가 가장 높게 나타났으며 섬유시트와 탄소섬유막대의 보강량 증가로 인해 항복 이후의 처짐이 증대되어 기준 실험체에 강성이 저하되었다.
- (4) ACI Code에서 제안하고 있는 전단내력 평가식을 적용 결과한 결과, 보강재 겹수 증가와 보강 간격에 따른 보강의 부착성 저하로 인해 실험값이 이론값에 비해 8~98% 정도의 차이를 보여 보강재의 종류 및 보강겹수, 보강 간격에 따라 0.37~1.08 정도의 부분조정계수(β)의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김정섭 외 3인, "구조적 손상을 입은 철근콘크리트 보의 전단 보강효과에 관한 연구", 한국건축시공학회지 논문집, 제8권 5호, 2008, pp.183-190.
2. 신성우 외 4인, "탄소섬유시트로 보강된 RC보의 전단거동에 관한 연구", 한국구조물진단유지관리학회 논문집, 제2권 3호, 1998, pp.206-211.
3. 신영수, "탄소섬유시트에 의한 철근콘크리트 보의 전단 보강 효과", 대한건축학회 논문집, 제15권 9호, 1999, pp.11-18.
4. 신용석, "철근콘크리트 T형보의 구조 보강 특성에 관한 연구", 조선대학교 박사학위논문, 2010.8.
5. 심중성, 김규선, "FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제10권 4호, 1998, pp.11-18.
6. 양근혁 외 2인, "와이어로프로 외부 보강된 철근콘크리트 연속 T형 보의 전단내력", 한국콘크리트학회 논문집, 제19권 6호, 2007, pp.773-783.
7. 이용택, 이리형, "탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 전단강도에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제16권 1호, 2000, pp.11-17.
8. ACI 440. 2R-02, "Guide for the Design and Construction fo Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", ACI Committee 440.
9. Amir M. Malek, Hamid Saadatmanesh, Ultimate Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Web-Bonded Fiber-Reinforced Plastic, ACI Structural Journal, 1997, pp.363-370.
10. Gahazi J. Al-Sulaimani, Alfarabi Sharif, Istem A. Basunbul, Mohhamed H. Baluch, B. N. Ghaleb, Shear Repair for Reinforced Concrete by Fiberglass Plate Bonding, ACI Structural Journal, 1994, pp.458-464.
11. Thanasis C. Triantafillou, Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites, ACI Structural Journal, 1998, pp.107-115.
12. Tom Norris, Hamid Saadatmanesh, Mohammad R. Ehsani, Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets, Journal of Structural Engineering, 1997, pp.903-911.

(접수일자 : 2010년 7월 29일)

(1차 수정일자 : 2011년 3월 8일)

(2차 수정일자 : 2011년 5월 12일)

(3차 수정일자 : 2011년 7월 25일)

(심사완료일자 : 2011년 9월 8일)

요 지

기존 보강에 대한 연구는 대부분 장방향 보에 대해 휨 보강에 대한 연성 및 내력 증대에 대하여 주로 연구가 되었다.

그리고 일반적으로 철근콘크리트 보-슬래브 구조에서는 시공의 특성상 보와 슬래브의 콘크리트가 동시에 부어넣기되기 때문에 경화 후 일체가 되어 인접한 슬래브는 보의 플랜지를 이루어 보의 강성을 높이고 압축응력을 지지하는 면적을 넓혀 주는 T형보 단면을 갖지만 T형보의 휨 거동에 대해 유용한 자료는 부족한 실정이다. 본 연구는 철근콘크리트 T형보를 제작하여 보강재 종류와 위치별로 전단 보강을 실시하여 보강효과 및 구조적 특성을 파악하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

각종 실험결과를 종합하면, 탄소섬유막대 보강은 콘크리트 내부에 매입되어 일체 거동함으로써 파괴시 거동 및 내력 및 강성 향상 면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 강관 보강은 강성 및 전단내력은 증대 되었으나 보강강도는 큰데 반해 콘크리트와 부착성 저하에 의해 낮은 보강효과를 보였다. 섬유시트 보강은 보강효과는 우수하나 파괴 시 부착성의 한계로 인해 계면박리가 나타나 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

핵심 용어 : 철근콘크리트 T형보, 전단 보강
