

다방향성 바잘트 섬유 시트로 전단보강한 철근콘크리트 보의 전단성능

최기봉¹

가천대학교 건축공학과 교수¹

Shear Performance of Reinforced Concrete Beam Shear-Reinforced with Multidirectional Basalt Fiber Sheet

Choi, Ki-Bong¹

¹Professor, Department of Architectural Engineering, Gachon University, Gyeonggi-do, Korea

Abstract: The shear behavior according to the reinforcement method of concrete beams reinforced with multidirectional basalt fiber sheets was verified through experiments. The experimental parameters were the reinforcement method (non-reinforcement, 45°, 90°, and U-shaped) and the number of reinforcement layers (0, 1, and 2 layers). The shear strength test revealed an up to 11% increase in shear performance when a basalt fiber sheet was used as reinforcement in a single layer at 90°. Additionally, the effective strain decreased as the amount of FRP was increased.

Key Words: basalt, shear strength test, reinforced concrete, effective strain

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 사용 연한이 지남에 따라 주변 환경의 영향으로 인해 재료의 내구성에 영향이 생기게 된다. 이러한 구조물의 내구성을 증가시키기 위해 구조물의 보수, 보강이 필요하다(Kim, 2013). 구조물의 보수보강공법으로는 표면처리공법, 주입공법, 강판보강공법, 프리스트레싱공법, 섬유시트보수보강공법 등이 있다. 그중 철근콘크리트 휨 부재의 보수, 보강공법 중 섬유시트보강공법은 휨모멘트에 의해 발생하는 인장력으로 인해 균열이 발생하고 그 부분에 강도가 크고 단위중량이 작은 섬유강화 복합재(Fiber Reinforced Polymer Plastic, FRP)를 부착하는 방법으로 구조물의 내하력과 내진 성능을 증가시킬 수 있다.

섬유강화 복합재의 종류로는 아라미드섬유, 탄소섬유, 유리섬유, 바잘트 섬유 등이 있다. 그 중 바잘트 섬유 시트는 친환경 소재로 독성이 없고 폐섬유증, 발암유발 작용이 전무하다. 또한, 불연, 방음, 내부식성 등이 우수하다. 특히, 바잘트 섬유 시트는 FRP중 경제성이 뛰어나 유리섬유나 탄소섬유 등의 섬유들에 비해 작은 에너지를 소비하여 생산이 가능하다. 그러나, 국내에서는 상대적으로 국외보다 바잘트 섬유에 대한 연구가 미비한 실정이다.

FRP 시트로 보강한 철근콘크리트 구조물의 강도 예측 연구가 다수 진행되었다. 그중 Bak and Roh(2022)는 콘크리트 강도에 따른 탄소섬유시트의 보강효과를 실험적 연구를 통해 확인한 결과 탄소섬유시트로 보강된 휨 부재의 경우 콘크리트 강도가 낮을수록 효과가 뚜렷하게 증가함을 확인하였다. Lee et al. (2021)은 복합섬유 패널과 BFRP(Basalt Fiber Reinforced Polymer Plastic) 시트로 보강한 정사각형 단면 철근콘크리트 기둥이 지진 거동 시 미치는 영향을 실험을 통해 확인한 결과 연성도와 에너지 소산능력이 증가함을 확인하였다.

NYAMDAVAA et al. (2021)은 탄소섬유시트로 보강한 I형 펄트루전 FRP부재의 휨보강에 따른 거동을 실험과 수치해석을 통해 분석하여 FRP 보강 겹수의

Corresponding author: Choi, Ki-Bong
Department of Architectural Engineering, Gachon University, 1342 Seongnamdaero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea.
Tel: +82-31-750-4718, Fax: +82-31-754-2772
E-mail: kbchoi@gachon.ac.kr

Received September 29, 2022 / Revised October 5, 2022 / Accepted October 18, 2022

· 본 논문에 대한 토의를 2022년 11월 30일까지 학회로 보내주시면 2022년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

변화에 따른 휨보강 효과를 확인하였다. Ha (2018)는 CFS(Carbon Fiber Sheet), GFS(Glass Fiber Sheet), PET(Polyethylene) 섬유시트로 보강한 RC보의 보강효과를 이론적으로 분석한 결과 보강한 실험체의 휨강도가 무보강 실험체에 비해 높게 나타남을 확인하였다. Yoo et al. (2020)은 탄소섬유시트로 보강한 노슬럼프 고강도 콘크리트의 구조성능을 실험을 통해 확인하였다. Yuan et al. (2019)는 바잘트 섬유 시트와 강섬유 철근콘크리트 사이의 계면 결합거동에 대한 변형을 실험을 통해 확인하였다. Yuan et al. (2020)은 철근콘크리트 외부에 부착된 BFRP의 계면박리를 감지하기 위해서 응력과 기반 센서를 사용하여 실험적, 수치해석을 통해 확인하였다. Lee et al. (2022)는 FRP그리드로 보강한 콘크리트 보를 유한요소해석을 통해 매개변수해석을 수행하였다. 유한요소해석을 통해 콘크리트와 FRP그리드 간의 본드-슬립을 고려하여 실험과 해석을 의 변위차는 약 7%내의 오차를 보였다. 대부분의 FRP 시트에 대한 연구는 CFRP, GFRP에 대한 연구가 주로 진행되었고 국외에서는 바잘트섬유 시트에 대한 연구가 국내에 비해 기술적으로 진보한 상태이다.

국내에서도 국외 기술 수준 격차를 줄이기 위해서는 FRP 중 바잘트 섬유에 대한 다양한 연구가 필요하다. 따라서, 이 연구에서는 다방향성 바잘트 섬유 시트의 역학적 특성을 파악하고 바잘트 섬유 시트로 휨 보강한 철근콘크리트 보의 전단 보강방법에 따른 전단 보강 성능을 실험을 통해 확인하였다.

2. 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트 보의 특성

2.1 바잘트 섬유

바잘트 섬유란 현무암을 1,500℃로 녹여 원심력으로 방사한 직경이 9~20 μ m의 필라멘트사로 만든 무기 섬유이다. 다방향성 바잘트섬유 시트는 Fig. 1에서 보이듯이 현무암으로부터 생성시킨 바잘트 섬유 실을 4축으로 직조하여 수직의 날실과 수평의 씨실 뿐만 아니라 좌우 45도 대각선 방향으로 직조한 것

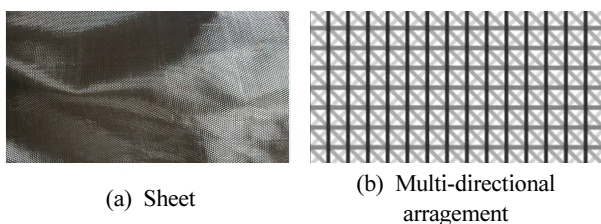
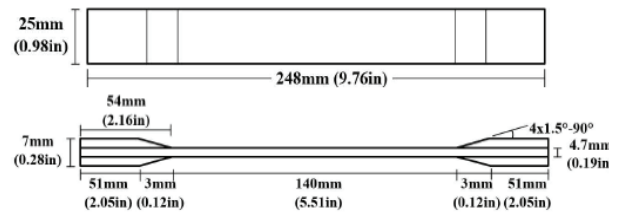


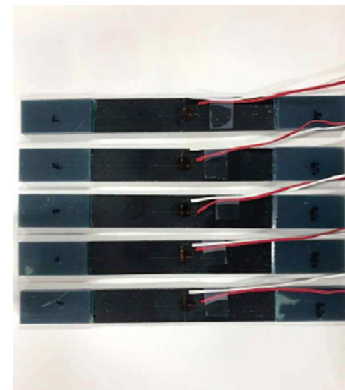
Fig. 1 Basalt Fiber Sheet

Table 1. Specification of Tensile Strength Test Specimen

Specimen No.	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)
K-T-1	24.0	248.4	4.7
K-T-2	24.9	248.0	4.8
K-T-3	25.0	248.0	4.7
K-T-4	24.8	248.6	4.8
K-T-5	25.6	248.4	4.6



(a) specification specimen



(b) specimen

Fig. 2 Tensile Specimens of Basalt Fiber

이다.

2.2 바잘트 섬유 시트의 인장강도 시험

바잘트 섬유 시트의 인장강도를 확인하기 위해 ASTM D3039/3039M (2017)에 따라 바잘트 섬유 시트의 인장강도 시편을 제작하였다. 인장시편의 규격은 폭 25mm, 길이 248mm, 두께 4.7mm로 제작하였다. 인장강도시험 시편의 제원은 Table 1에 나타내었다.

지그가 물리는 부분에서 파단 나는 것을 방지하고 시편 중앙부분에서 파단을 유도하기 위해 55mm의 Tab을 부착하였다. 인장시편은 5개를 제작하였으며 인장시편은 Fig. 2에 나타내었다.

인장강도시험은 Fig. 3에서 보이듯이 ASTM D3039 (2017)에 따라 100kN의 UTM을 사용하여 시험을 수행하였다. 하중재하속도는 2mm/min의 속도로 시편이 파괴될 때까지 하중을 재하하였다. 변형률계기는 수직 및 수평 방향으로 시편 중앙 부분에 부착하였다.

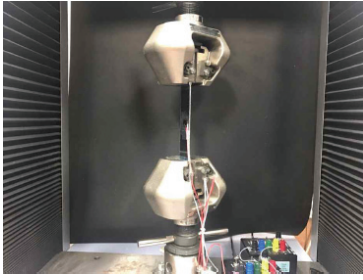


Fig. 3 Tensile Strength Test Setup

인장강도시험결과 Fig. 4와 같이 대부분 시편은 중앙부에서 섬유길이방향으로 파단이 발생하였으며 K-T-2 시편은 그림부 근처에서 파단이 발생하였다. 바잘트 섬유시트의 인장강도 시험결과 Table 2와 Fig. 5에 정리하였다. 탄성계수는 식 (1)을 통해 할선 탄성계수로 산정하였으며 그 범위는 변형률 0.001~0.003이다.

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (1)$$

3. 다방향성 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트 보의 전단 강도 실험

3.1 철근콘크리트보 실험체 제작

철근콘크리트보 실험체는 전단파괴가 유도되도록 SD400의 D10 철근을 Fig. 6과 같이 배근하였고, 콘크리트강도

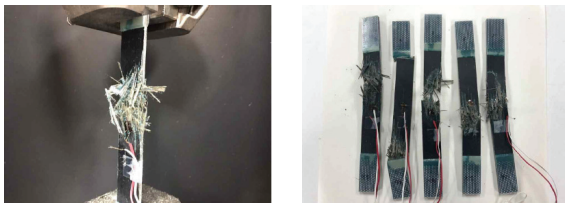


Fig. 4 Failure Mode of Tensile Strength Test Specimen

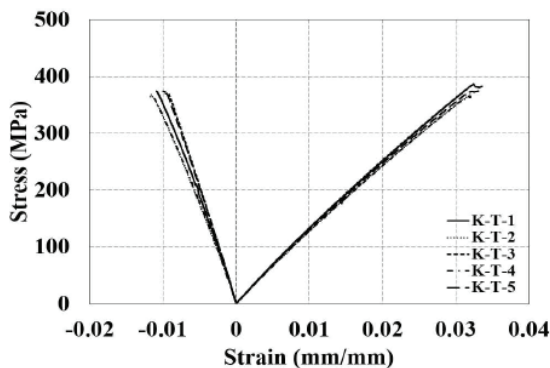


Fig. 5 Stress-Strain Relationship of Basalt Fiber Specimen

Table 2. Result of Tensile Strength Test

Specimen No.	Ultimate Stress (MPa)	Ave. Stress (MPa)	Elasticity Modulus (GPa)	Ave. Elasticity Modulus (GPa)
K-T-1	386.7	372.7±7.68	14.0	13.7±0.27
K-T-2	368.1		13.3	
K-T-3	370.7		13.9	
K-T-4	364.2		13.4	
K-T-5	374.0		13.7	

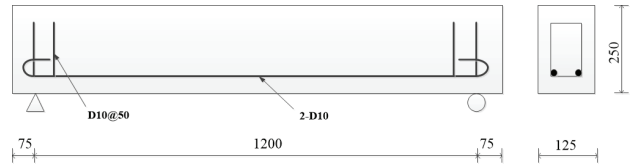


Fig. 6 RC Specimen Details

가 21MPa이며 1,350×125×250mm의 크기로 실험체를 제작하였다. 실험실 UTM의 용량과 시편 제작 및 운반의 용의성을 고려하고 전단파괴를 유도하기 위해 최소한의 전단철근을 배근하여 시편을 제작하였다.

3.2 실험 방법

3.2.1 실험 변수

다방향 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트 보의 전단경간비가 2.0일 경우 바잘트 섬유 시트의 보강방법, 보강겹수를 변수로 두어 전단강도 실험을 수행하였다. 실험변수는 Table 3에 정리하였다.

3.2.2 실험 계획

다방향 바잘트 섬유 시트의 보강방법에 따른 철근콘크리트 보의 보강 성능을 검토하기 위해 전단강도 실험을 수행하였다. 300kN (=3,000tonf) 용량의 UTM을 사용하여 하중을 재하하였으며, 하중은 변위제어 방식으로 2mm/min의 속도로 재하하였다. 하중에 따른 철근의 변형률을 측정하기 위해 주철근에 변형률 게이지를 설치하였고, 실험체의 하중-변위 특성을 확인하기 위해 중앙부분에 와이어 게이지를 설치하여 실

Table 3. Parameter

Specimen	Reinforcement Method	Reinforced Layer
BC-1	-	
BS-45-1	45°	1
BS-90-1	90°	1
BS-90-2		2
BU-90-1	U-type	1
BU-90-2		2

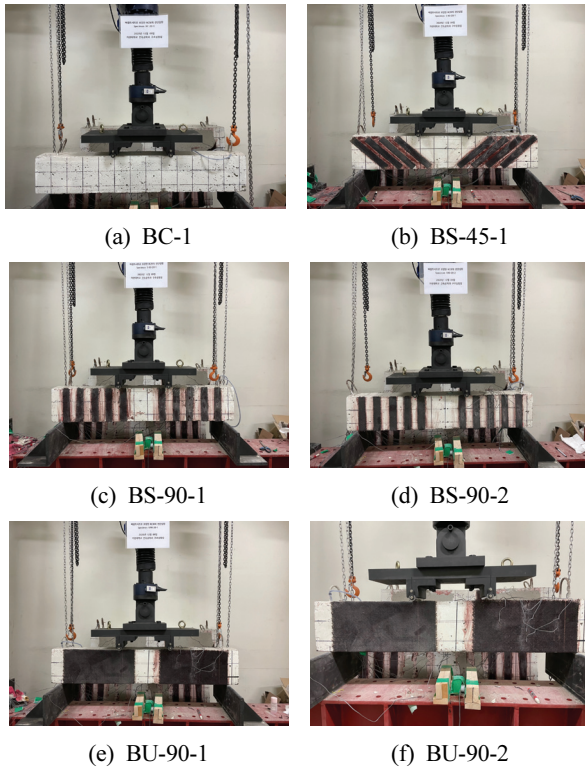


Fig. 7 Shear Strength Test Setup

험체의 최대 변위를 측정하였다. 또한, 다방향 바잘트 섬유 시트의 보강방법에 따른 실험체의 전단보강 효과를 확인하기 위해 순수 휨 구간이 발생하는 실험체 중앙부분을 제외하고 다방향 바잘트 섬유 시트를 45도, 90도, U형으로 전단 보강하였다. Fig. 7은 다방향 바잘트 섬유 시트로 전단 보강한 전단강도 실험 전경이다.

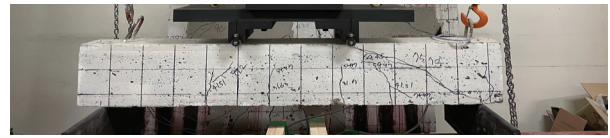
3.3 실험 결과

3.3.1 BC-1

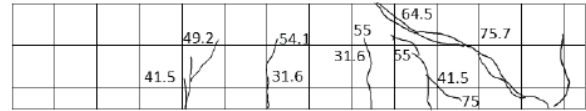
전단경간비가 2.0일 때 철근콘크리트보 실험체의 전단강도실험을 수행한 결과 실험체 중앙부분에서 휨 균열이 발생하다 실험체 우측에서 휨-전단균열이 발생하면서 75.7kN의 하중에서 파괴되었다. Fig. 8(a)는 무보강 철근콘크리트보 실험체의 파괴형상이고, Fig. 8(b)는 하중별 균열형상을 나타낸 것이다.

3.3.2 BS-45-1

다방향 바잘트 섬유 시트를 45도 각도로 휨실험체를 전단 보강한 결과 최초 실험체 중앙부분에서 휨 균열이 발생하였으며 실험체 양쪽에서 휨-전단 균열이 발생되다 76.3kN일 때 상부 가력지점에서 압괴현상이 발생하면서 최종 파괴되었다. Fig. 9(a)는 다방향 바잘트 섬유시트를 45도로 보강한 철근콘크리트보

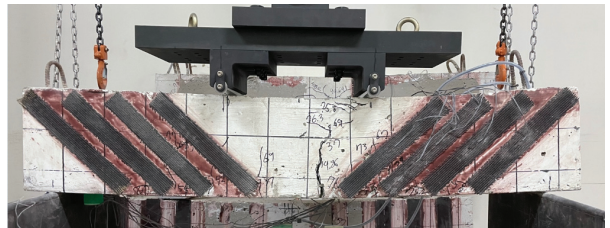


(a) Specimen Failure Mode

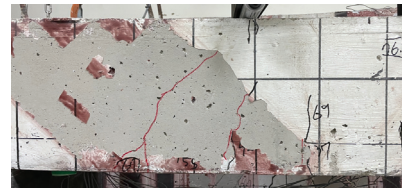


(b) Crack Mode

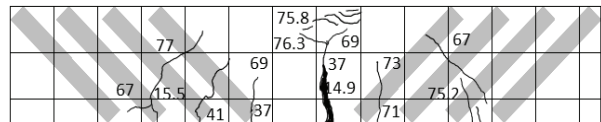
Fig. 8 Shear Strength Test of BC-1



(a) Specimen Failure Mode



(b) Detail of Failure Mode



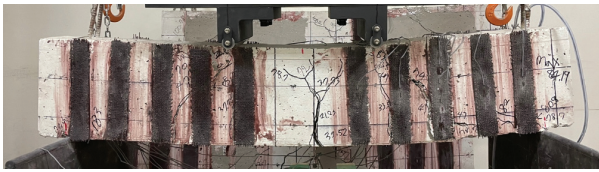
(c) Crack Mode

Fig. 9 Shear Strength Test of BS-45-1

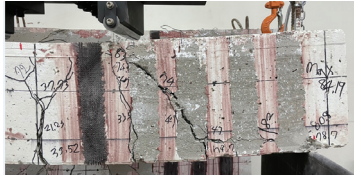
실험체의 파괴형상이고, Fig. 9(b)는 다방향 바잘트 섬유 시트를 탈락시킨 후 확인한 파괴형상 상세이다. Fig. 9(c)는 하중별 발생한 균열형상을 나타낸 것이다.

3.3.3 BS-90-1

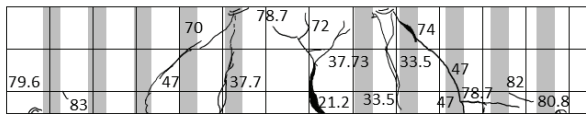
다방향 바잘트 섬유 시트를 90도 방향으로 1겹으로 전단 보강한 휨실험체의 전단강도실험 결과 초기 중앙부분에서 휨 균열이 발생하였고 실험체 양쪽에서 전단균열이 발생하였으며 80kN 이상의 하중이 재하되면서 실험체 양쪽 끝 지지점에서 파괴되었다. Fig. 10(a)는 다방향 바잘트 섬유시트를 90도로 1겹 보강한 철근콘크리트보 실험체의 파괴형상이고, Fig. 10(b)는 다방향 바잘트 섬유 시트를 탈락시킨 후 확



(a) Specimen Failure Mode



(b) Detail of Failure Mode



(c) Crack Mode

Fig. 10 Shear Strength Test of BS-90-1

인한 파괴형상 상세이다. Fig. 10(c)는 하중별 발생한 균열형상을 나타낸 것이다.

3.3.4 BS-90-2

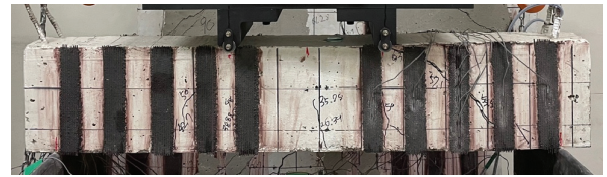
다방향 바잘트 섬유 시트를 90도 각도로 2겹 전단보강한 휨 실험체의 전단강도실험 결과 초기 하중이 26.4kN일 때 휨 균열이 발생하였으며 하중이 재하되는 도중 실험체 오른쪽 일부 시트가 탈락되면서 최종 63kN의 하중이 재하되었을 때 사인장균열이 발생하면서 최종 파괴되었다.

Fig. 11(a)는 다방향 바잘트 섬유시트를 90도로 2겹 보강한 철근콘크리트보 실험체의 파괴형상이고, Fig. 11(b)는 다방향 바잘트 섬유 시트를 탈락시킨 후 확인한 파괴형상 상세이다. Fig. 11(c)는 하중별 발생한 균열형상을 나타낸 것이다.

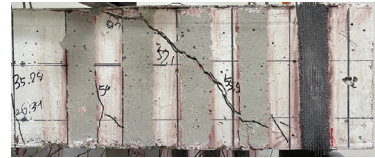
3.3.5 BU-90-1

다방향 바잘트 섬유 시트를 1겹으로 U형 보강한 휨 실험체의 전단강도실험 결과 초기하중이 23.3kN일 때 휨 균열 발생하였으며 실험체 좌측 전단구간에서 미세한 전단균열이 발생하다 U형 보강으로 인해 더 이상 균열이 진전되지 않았다. 또한, 실험체 중앙부분에서 발생한 휨 균열은 다방향 바잘트 섬유 시트로 보강된 부분에서는 균열이 더 이상 진전되지 못하고 하중이 77.5kN일 때 최종 휨균열이 발생되면서 파괴되었다.

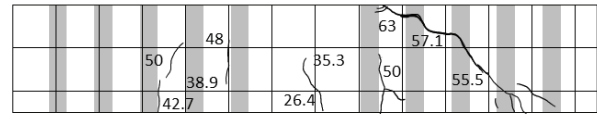
Fig. 12(a)는 다방향 바잘트 섬유시트를 U형으로 1겹 보강한 철근콘크리트보 실험체의 파괴형상이고, Fig. 12(b)는 다방향 바잘트 섬유 시트를 탈락시킨



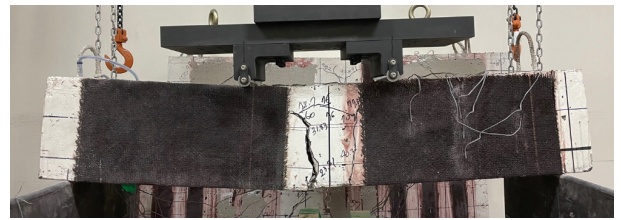
(a) Specimen Failure Mode



(b) Detail of Failure Mode



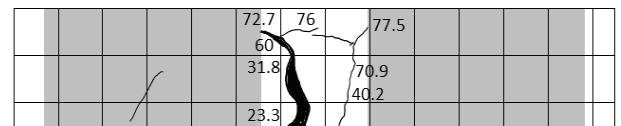
(c) Crack Mode

Fig. 11 Shear Strength Test of BS-90-2

(a) Specimen Failure Mode



(b) Detail of Failure Mode



(c) Crack Mode

Fig. 12 Shear Strength Test of BU-90-1

후 확인한 파괴형상 상세이다. Fig. 12(c)는 하중별 발생한 균열형상을 나타낸 것이다.

3.3.6 BU-90-2

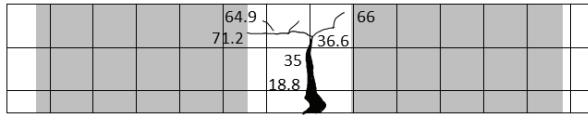
다방향 바잘트 섬유 시트를 2겹으로 U형 보강한 휨 실험체의 전단강도실험 결과 초기하중이 18.8kN일 때 최초 휨 균열이 발생하였고 다방향 바잘트 섬유 시트로 보강된 부분에서는 더 이상 균열이 진전되지 못하고 균열이 상부로 진전되면서 71.2kN의 하



(a) Specimen Failure Mode



(b) Detail of Failure Mode



(c) Crack Mode

Fig. 13 Shear Strength Test of BU-90-2

중이 재하되었을 때 최종 휨 균열이 발생하면서 파괴되었다.

Fig. 13(a)는 다방향 바잘트 섬유시트를 U형으로 2겹 보강한 철근콘크리트보 실험체의 파괴형상이고, Fig. 13(b)는 다방향 바잘트 섬유 시트를 탈락시킨 후 확인한 파괴형상 상세이다. Fig. 13(c)는 하중별 발생한 균열형상을 나타낸 것이다.

4. 다방향성 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트 보의 전단 강도 실험 결과 분석

다방향성 바잘트 섬유 시트로 전단 보강한 철근콘크리트 보의 전단강도실험 결과는 Table 4에 나타내었다. 또한, ACI 440.2R (2017)에서 제시하고 있는 유효 변형률은 식(1)과 (2)를 통해 확인할 수 있다. ACI

440.2R에서는 CFRP, GFRP, AFRP에 대한 감소계수만 특정하고 있어 BFRP를 적용하는데 한계가 있다. 또한, ACI 440.2R에서 제시하는 유효변형률은 T형보, Column에만 국한되어 있다. 구조물을 FRP로 모두 감싸 보강하는 경우에는 식 (1)을 적용하고, U형보강, Column 표면에 부착하는 경우에는 식(2)를 적용한다.

$$\epsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75\epsilon_{fu} \quad (1)$$

$$\epsilon_{fe} = \kappa_v \epsilon_{fu} \leq 0.004 \quad (2)$$

여기서, ϵ_{fu} 는 FRP 설계 파괴변형률(mm/mm)
 κ_v 는 감소계수

기존 연구에서 FRP로 보강된 철근콘크리트보는 섬유 전단 파괴모드를 통해 경계점인 균형파괴섬유비로 파괴시 섬유의 유효변형률을 예측할 수 있다 (Hwang and Lee, 2007). 바잘트 섬유의 유효변형률은 섬유의 양이 1겹일 때 보다 2겹일 때 감소함을 확인하였다. 이러한 결과는 Hwang and Lee (2007)의 기존 연구 결과와 비슷한 양상을 보였다.

다방향성 바잘트 섬유 시트로 전단 보강한 철근콘크리트보의 하중-변위 관계는 Fig. 14에 나타내었

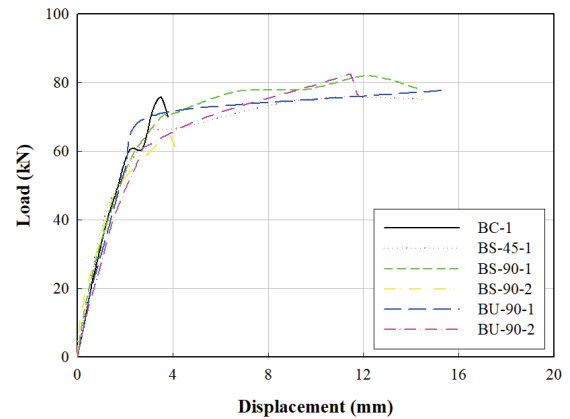


Fig. 14 Load-displacement Relationship of Shear Strength Test

Table 4. Results of Shear Strength Test

Specimen Designation	$P_{yielding}$ (kN)	$P_{ultimate}$ (kN)(②)	error (%) (①/②)	$\delta_{P_{yielding}}$ (mm)	$\delta_{P_{ultimate}}$ (mm)	Failure Mode	Effective Strain (mm/mm)
BC-1	60.60	75.70 (①)	-	2.2	3.8	Flexural-shear	-
BS-45-1	66.48	75.72	0.99	3.0	14.5	Flexural-shear	0.003574
BS-90-1	71.00	84.19	0.89	4.0	14.4	Shear	0.003576
BS-90-2	60.39	65.02	1.16	3.1	4.1	Diagonal-tension	0.003565
BU-90-1	70.00	77.85	0.97	2.9	15.4	Flexural	0.003557
BU-90-2	60.32	82.09	0.92	2.7	11.8	Flexural	0.003504

다. 실험체의 항복하중은 Fig. 14의 하중-변위관계에서도 알 수 있듯이 실험체의 초기 항복 후 최대하중 이후에도 실험체의 내력 증가 없이 변위가 증가하고 있어 실험체가 소성상태로 진입하고 있다 판단하였다.

보강방법에 따른 다방향성 바잘트 섬유 시트의 전단보강 효과를 확인하기 위해 전단파괴가 유도되도록 실험체를 제작하여 전단강도 실험을 수행한 결과 45도로 전단보강한 실험체는 무보강 실험체에 비해 1%의 미비한 전단보강 효과를 보였다.

다방향성 바잘트 섬유 시트를 90도로 1겹 보강한 실험체(BS90-1)는 무보강 실험체(BC-1)에 비해 약 11%의 전단보강 효과를 확인하였으며 90도로 2겹 보강한 실험체(BS90-2)는 무보강 실험체(BC-1)에 비해 전단보강효과가 16% 감소함을 확인하였다. 또한, 1겹으로 보강한 BS90-1 실험체는 2겹으로 보강한 BS90-2 실험체에 비해 약 29%의 보강효과를 보였다. FRP 섬유의 보강량이 증가함에 따라 실험체의 보강 효과가 증가하지 않은 이유는 바잘트 섬유시트가 철근콘크리트보에 완전 부착되지 않고 하중재하시 탈락되어 보강효과를 발휘하지 못하였다.

U형 다방향성 바잘트 섬유 시트로 1겹 보강한 BU90-1 실험체는 무보강 실험체(BC-1)보다 최대 하중이 3% 증가하였으며 U형 다방향성 바잘트 섬유 시트로 2겹 보강한 BU90-2 실험체는 무보강실험체(BC-1)보다 최대 하중이 약 8% 증가하여 전단성능이 향상됨을 확인하였다.

BU90-2 실험체는 BU90-1 실험체보다 약 5.4%의 전단성능이 향상됨을 확인하였다. U형 실험체의 경우 보강겹수가 증가함에 따라 전단성능이 향상되고 동일 하중에 철근콘크리트에 발생하는 최대 변위가 감소함을 확인하였다. 또한, U형 실험체에서 휨균열이 발생한 이유는 바잘트 섬유시트의 방향성이 다방향으로 제작되어 전단균열이 발생하는 지점을 보강해서 발생하여 취약한 순수 휨 구간인 실험체 중앙부분에서 발생한 것이라 판단된다. 따라서, 다방향 바잘트 섬유시트가 철근콘크리트보의 전단균열 발생을 방지하고 철근콘크리트보의 전단성능을 향상시키고 있음을 확인하였다.

5. 결 론

이 연구는 보강방법에 따른 다방향성 바잘트 섬유 시트로 전단 보강한 철근콘크리트보의 전단성능을 실험을 통해 비교 분석하였다.

다방향성 바잘트 섬유시트의 역학적 성질을 파악하기 위해 인장강도실험을 통해 얻은 결과 다방향성

바잘트 섬유시트의 인장강도는 $372.7 \pm 7.68 \text{ MPa}$ 이며 탄성계수는 $13.7 \pm 0.27 \text{ GPa}$ 을 가짐을 확인하였다.

실험실 여건과 시편 제작 및 운반의 용이성을 고려하고 최소한의 전단철근을 배근하여 철근콘크리트보를 제작한 결과 무보강 실험체에 비해 다방향성 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트보의 경우 최대 16%의 보강효과를 확인하였다.

바잘트 섬유시트의 유효변형률을 검토한 결과 기존 연구결과와 비슷한 양상인 섬유의 양이 증가함에 따라 유효변형률이 감소함을 확인하였다.

바잘트 섬유시트로 보강한 철근콘크리트의 전단 실험을 통해 휨모멘트에 의해 발생하는 인장력으로 인해 발생하는 균열을 바잘트 섬유시트로 보강함으로써 구조물의 내하력 증가 및 내진 성능을 증가시킬 수 있다고 판단된다. 또한, 부착방법에 따라 철근콘크리트 구조물의 보강성능이 달라지며 무보강 실험체에 대비 보강효과가 있음을 실험을 통해 확인하였다.

다방향성 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트보의 경우 90도로 1겹 보강하였을 때 최대 11% 보강성능이 향상됨을 확인하였다. 따라서, 다방향성 바잘트 섬유 시트로 철근콘크리트보를 보강할 경우 90도로 1겹을 보강하여도 충분히 보강효과를 발휘할 수 있을 것이라 판단된다. 추후 연구를 통해 바잘트 섬유 시트의 전단경간비에 따른 거동분석을 확인하기 위해 추가적인 실험을 진행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 연구비 지원에 의한 연구임(No. NRF-2018R1D1A1B07042595).

REFERENCES

- ACI 440.2R (2017). "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," *American Concrete Institute (ACI)*, Farmington Hill, MI, USA.
- ASTM D3039/D3039M-17. (2017). "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials," *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, Pennsylvania, USA.
- Bak, M. S., and Roh, Y. S. (2002), "An Experimental Study on the Reinforcement Effect of Carbon Fiber Sheet according to Concrete Strength," *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 23, No. 4, pp. 474-482. doi: 10.5762/KAIS.2022.23.4.

474)

- Ha, S. S. (2018), "Theoretical Analysis for Strengthening Effects of RC Beam with Reinforced FRP Sheet," *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 22, No. 4, pp. 100-107. doi: 10.11112/jksmi.2018.22.4.100
- Hwang, H. B., and Lee, J. Y. (2007), "An Experimental Study on the Effective Strain of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Fiber Reinforced Polymer," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 19, No. 2, pp. 145-151. doi: 10.4334/JKCI.2007.19.2.145
- Kim, Y. H. (2013). "Analysis of Influencing Parameters on Strengthening Effect of CFRP Sheets used to Strengthen Reinforced Concrete Beams, *Master Thesis*, Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Lee, H., Cho, J., Gillani, A. S. M., Shim, Y. G., and Hong, K. J. (2021), "Effect of Composite Fiber Panels and Basalt-Based Fiber Reinforced Polymer Wrapping on the Seismic Behavior of Square Reinforced Concrete Columns," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 12, No. 1, pp. 9-17. doi: 10.11004/kosacs.2021.12.1.009
- Lee, J., Hong, K., Yeon, Y., and Ji, S. (2022), "Finite Element Analysis of Concrete Beam Reinforced with FRP Grids," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 13, No. 1, pp. 19-27. doi: 10.11004/kosacs.2022.13.1.019
- NYAMDAAVAA, S., Kim, S. H., Lee, K. Y., and Park, S. J. (2021), "Interfacial Stress Evaluation According to Flexural Reinforcement of Pultruded I-Shape Fiber Reinforced Polymer Plastic member Reinforced with Carbon Fiber Sheet," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 12, No. 5, pp. 71-78.
- Yoo, S., Yuan, T., Hong, S., and Yoon, Y. (2020), "Evaluation of Structural Performance of Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber Sheets and No-Slump Concrete," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 20, No. 4, pp. 185-193.
- Yuan, C., Chen, W., Pham, T. M., Hao, H., Cui, J., and Shi, Y. (2019), "Strain Rate Effect on Interfacial Bond Behaviour between BFRP Sheets and Steel Fibre Reinforced Concrete," *Composite Part B: Engineering*, Vol. 174, 107032. doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107032
- Yuan, C., Kong, Q., Chen, W., Jiang, J., and Hao, H. (2020), "Interfacial Debonding Detection in Externally Bonded BFRP Reinforced Concrete using Stress Wave-based Sensing Approach," *Smart Materials and Structures*, Vol. 29, No. 3, 035039.

주요어: 바잘트, 전단강도실험, 철근콘크리트, 보강

국문초록: 이 연구는 다방향성 바잘트 섬유 시트로 보강한 철근콘크리트 보의 보강방법에 따른 전단거동을 실험을 통해 확인하였다. 실험변수는 보강방법(무보강, 45도 90도 U형)과 보강겹수(0, 1, 2겹)를 변수로 두었으며 전단강도실험결과 바잘트섬유시트를 90도로 1겹 보강하였을 때 최대 11% 이상의 보강성능을 확인하였다. 또한, 유효변형률을 검토한 결과 섬유량이 증가함에 따라 유효변형률이 감소함을 확인하였다.