

CFRP 쉬트로 전단보강후 동결융해에 노출된 철근콘크리트 보의 보강성능

Strengthening Performance of RC Beams Exposed to Freezing and Thawing Cycles after Strengthening in Shear with CFRP Sheet

윤현도* 김선우** 김윤수*** 이민정*** 서수연**** 최기봉****
Yun, Hyun Do Kim, Sun Woo Kim, Yun Su Lee, Min Jung Seo, Soo Yeon Choi, Ki Bong

ABSTRACT

In recent years, carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) has been widely used for repairing and/or strengthening structural elements in concrete. Not enough test data, however, are available to predict the long-term performance of the repaired and improved structures exposed to weathering. The objective of this research is to study the effect of freeze-thaw cycling on the behavior of reinforced concrete (RC) beams strengthened in shear with carbon fiber sheet. Six small-scale RC beams (100mm×100mm×400mm) were strengthened with CFRP in shear, subjected to up to 400 cycles freeze-thawing from -17~4°C, and tested to failure in four-point bending. Test result, there was no significant damage to carbon fiber sheet strengthened concrete beams had been suffered 30 cycles of freeze-thawing, and more over 60 cycles of freezing-thawing brought about a reduction in resistance of only 25% of the initial level.

요약

구조물은 사용연한 경과에 따른 노후화 및 용도 변경 등에 의한 보수·보강시 널리 행해지는 부착공법 중 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등을 이용한 섬유보강 폴리머(Fiber-reinforced polymer, FRP) 보강공법은 섬유 자체의 내화학성, 내구성과 우수한 시공성 등의 장점을 지니고 있다. 현재 FRP 부착공법을 이용한 보강설계 및 보강구조물의 내력 계산시, 콘크리트 부재와의 부착력을 완전부착으로 가정하고 있으나 콘크리트 구조물이 내부적 요인 및 외부 환경요인에 의해 열화될 경우 내력 저하 및 1차적인 표면부 열화로 인한 FRP 부착면적의 손실발생이 우려된다. 하게 된다. 따라서 노후화에 따라 내력저하를 보이는 철근콘크리트 구조물에 FRP 보강시 열화에 따른 FRP 보강부재와 콘크리트 모재 간의 부착력 손실에 관한 연구가 필요하며, 본 연구에서는 환경적 요인에 의해 열화되는 철근콘크리트 부재의 파괴양상 및 구조성능과 FRP 보강부재와 콘크리트 모재와의 부착성능 저하현상을 분석하기 위하여 동결융해에 따른 CFRP 쉬트의 보강성능을 실험적으로 규명하고자 한다.

* 정회원, 충남대학교, 건축공학과, 교수
** 정회원, 충남대학교, 고기능 콘크리트 구조연구실, 박사과정
*** 정회원, 충남대학교, 고기능 콘크리트 구조연구실, 석사과정
**** 정회원, 충주대학교, 건축공학과, 교수
***** 정회원, 경원대학교, 건축공학과, 교수

1. 서 론

구조물은 사용연한 경과에 따라 재료, 시공 및 외부 환경적 요인에 노출되어 노후화됨으로써 주요 부재가 손상되며, 또한 구조물의 용도 변경 등에 의해 설계하중을 초과하는 경우 적절한 보수·보강을 통해 구조물의 내력을 증가시킬 수 있다. 현재 국내의 경우 1970년대 이후 건설된 수많은 건축 및 토목용 철근콘크리트 구조물이 중성화, 염해, 동해, 알칼리골재반응 등에 의해 표면부의 열화 및 균열, 마모, 철근부식, 처짐, 누수발생 등 시간이 지남에 따라 구조물의 성능이 저하되고 있으며, 성능이 저하된 구조물에 관한 신뢰성 또한 저하되고 있다. 현재 구조물의 유지관리를 위한 보수·보강에는 균열 보수, 단면복구, 부착공법, 프리스트레스, 기초보강공법 등 손상 부위 및 정도에 따라 적절한 공법이 행해지고 있으며, 이 중 부착공법은 탄소섬유, 아라미드섬유, 유리섬유 등을 재료로 한 쉬트(Sheet) 및 판(Panel) 형태의 보강재를 이용하여 기존 구조물과 일체화시킴으로써 기존 구조물의 내력을 증가시키는 공법이다. 이러한 섬유보강 폴리머(Fiber-reinforced polymer, FRP)를 이용한 부착공법의 경우 섬유 자체의 내화특성으로 인한 뛰어난 내구성 및 시공시 부착면의 형태에 따라 손쉽게 시공할 수 있는 장점을 지니고 있다. 현재 FRP 부착공법을 이용한 보강설계시, 일반적으로 콘크리트 부재와의 부착력을 완전부착인 경우로 고려한 후 적절한 안전계수를 이용, 기존 구조체의 최대보강비를 초과하지 않도록 하여 FRP의 파단 또는 탈락 이후에도 소요연성을 확보하도록 하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 콘크리트 구조물은 내부적 요인 및 외부 환경요인에 의해 내력 저하를 보이며 FRP와 같은 보강부재로 보강된 경우 내부 콘크리트 표면의 균열과 같은 손상진전과정을 관찰하기 어려운 뿐만 아니라, 표면부 열화로 인한 FRP 부착면적의 손실이 발생하게 된다. 그러나 현재 FRP로 보강된 철근콘크리트 부재에 관한 연구는 대부분 FRP 보강재의 종류, 보강량 및 공법에 관한 실험 및 해석적 연구만이 이루어지고 있는 실정이며, 따라서 노후화에 따른 내력저하를 보이는 철근콘크리트 구조물에 FRP 보강시 열화에 따른 FRP 보강부재와 콘크리트 모재 간의 부착력 손실에 관한 연구가 시급하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 환경적 요인에 의해 열화되는 철근콘크리트 부재의 파괴양상 및 구조성능과 FRP 보강부재와 콘크리트 모재와의 부착성능 저하현상을 분석하기 위하여 동결융해에 따른 CFRP 쉬트의 보강성능을 실험적으로 규명하고자 한다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 실험계획

본 연구에서는 CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 구조성능 및 동결융해 사이클 진행에 따른 성능저하를 실험적으로 규명하기 위하여 표 1 및 Table 1에 나타난 바와 같이 KS에서 규정하고 있는 휨시험용 몰드를 기준 1개 및 CFRP 보강용 5개 등 총 6개 제작하였으며, 진단파괴되도록 인장철근 및 진단보강근을 각각 배근하였다.

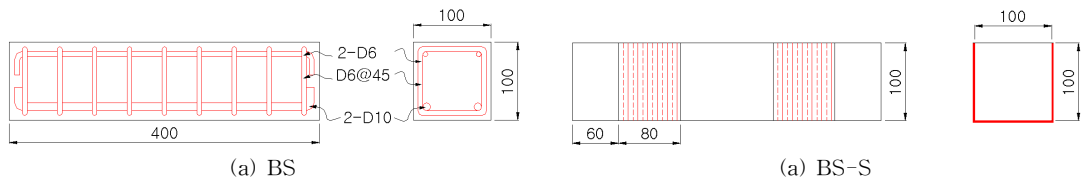


그림1. Detail of specimen (unit : mm)

표1. 실험체 계획

Specimen	Reinforcing type	B×D (d) (mm)	l (l _n) (mm)	a/d	f _{ck} (MPa)	f _y (MPa)	f _s (MPa)	Main bar A _s , ρ(cm ² , %)	Stirrup [pitch, ρ _s (%)]
BS	-	100×100(90)	200(190)	1	30	400	300	D10 2ea (1.42, 1.42)	D6@45 0.4
BS-S	U type								

*BS[Beam with Shear failure mode]-S[CFRP Sheet]

2.2 사용재료 및 실험방법

실험체를 제작하기 위하여 사용된 콘크리트의 28일 압축강도는 33MPa, 주근인 D10 철근의 항복강도 및 변형률은 각각 254.96MPa 및 2130 μ 이고 전단보강근으로 사용된 D6 철근의 항복강도 및 변형률은 각각 291MPa 및 1920 μ 로 나타났다. 전단 보강재인 CFRP 쉬트 및 플레이트의 인장강도는 각각 3768MPa 및 2801MPa로 나타났다. 실험체의 지점조건은 그림 2와 같이 회전 또는 이동이 가능한 단순지지 조건이 될 수 있도록 지점을 특수하게 제작하여 사용하였다. 보의 전체적인 수직 변위량을 계측하기 위하여 보 중앙부에 설치된 앵글 위에 변위계를 고정하여 보의 순수한 중앙부 처짐량을 측정하였다. 가력은 그림 2에 나타난 바와 같이 2,000kN 용량의 UTM에 의해 0.1mm/sec속도로 일정하게 하였다.



그림2. 가력장치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 파괴양상

그림 4는 각 실험체의 최종파괴양상을 나타낸 것이다. 각 실험체의 균열진전 양상은 CFRP 쉬트의 보강유무에 따라 차이를 보이고 있으며, 동결융해에 의한 손상단계에 따라서는 큰 차이를 보이지 않았다. 나 동결융해 유무 및 사이클 수에 따라 큰 차이는 보이지 않았다. CFRP로 전단 보강되지 않은 BS-0 실험체는 12kN에서 중앙부에 초기 휨균열이 발생하였으며, 이후 29kN의 하중 도달시 보의 양단지점과 가력점을 잇는 45°의 대각 전단균열이 발생되었다. 전단균열 발생 이후에도 최종파괴시까지 주균열 주변에 새로운 균열이 발생하는 등 기 발생된 주균열폭이 증가이후 최대내력에 이를 때까지 새로운 균열의 발생과 함께 이미 발생한 사인장 균열 폭이 증가되었다. 반면 그림 4(b)~(f)와 같이 전단경간부를 CFRP 쉬트로 보강한 경우에서는 전단부위에서의 보강량 증가로 인해 상대적으로 보 중앙부 휨균열이 다수 발생되었다. 이후 하중이 증가됨에 따라 CFRP 쉬트와 모재간 분리가 발생하여 내력이 저하되었으며, 동결융해에 의한 열화가 진전될수록 CFRP 쉬트의 부착력 상실시 쉬트와 함께 분리된 모재 콘크리트량이 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 탄소섬유쉬트 및 에폭시 등 CFRP는 우수한 내화학적 및 내구성능을 지니고 있으나 동결융해와 같은 열화를 경험시 모재의 부착면적 감소 및 모재의 단면손실이 발생으로 인해 CFRP 보강효과가 감소하는 것으로 판단된다.



그림3. BS 실험체의 최종파괴양상



(a) 0 cycle



(b) 30 cycle



(c) 60cycle



(d) 120 cycle



(e) 240 cycle



(f) 400 cycle

그림4. BS-S 실험체의 최종파괴양상

3.2 하중-변위관계

그림 5는 CFRP 쉬트에 의한 RC 보의 전단보강 유무 및 동결융해 사이클 수에 따른 전형적인 하중-변위관계 곡선이

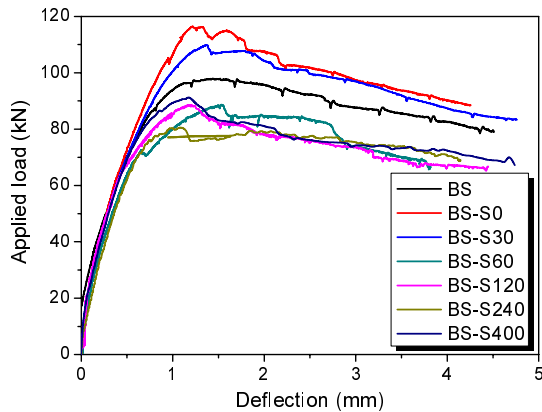


그림5. 하중-처짐곡선

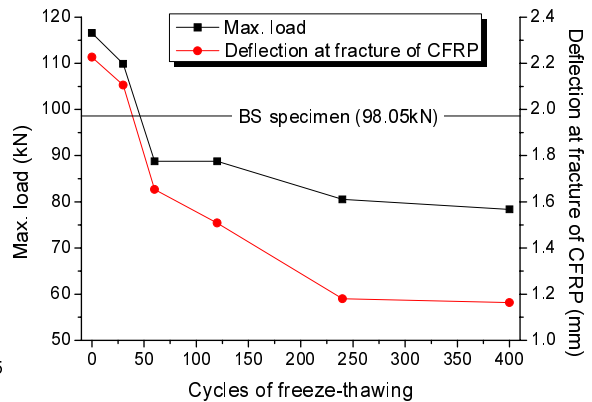


그림6. 동결융해 사이클별 실험체의 성능저하 비교

며, 그림 6은 동결융해 사이클 수에 따른 최대하중 및 CFRP 탈락 시점에서의 처짐량을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 CFRP 쉬트로 RC 보의 전단경간부를 보강함에 따라 최대내력이 18.86% 증가되었으며, 30 사이클에서도 내력저하는 크게 나타나지 않았다. 그러나 60 사이클에서는 23.82%의 내력저하가 발생하였으며, 무보강 실험체인 BS 실험체에 비해서도 9.45%가 저하되었다. 240 사이클에서는 최대내력이 80.54kN으로 열화 전에 비해 30.89% 저하되었으며, 400 사이클에서는 78.35kN의 최대내력을 보여 동결융해로 인한 내력저하가 240 사이클 이후에 둔화되었다. 또한 CFRP 탈락시 처짐량은 내력저하 현상과 유사한 경향을 보였으며, 특히 60 사이클 이후에는 CFRP의 조기 탈락현상이 급격히 나타나 240 및 400 사이클에서는 47%의 처짐량 감소가 발생하였다.

4. 결론

1) CFRP로 전단보강 후에 실험체에 발생된 휨 및 전단균열은 보강 전과 유사하게 발생하였으나, 전단부위 보강으로 인해 상대적으로 취약한 중앙부의 휨균열 수가 다소 증가되는 경향을 보였다.

2) CFRP 쉬트와 모재간 부착력 상실로 인한 최대내력 저하시, 동결융해 사이클이 증가할수록 CFRP 쉬트와 함께 분리 및 탈락되는 모재 콘크리트량이 증가되는 것으로 나타났다. 또한 동결융해 60 사이클 이후부터 CFRP로 보강된 실험체의 최대내력 및 CFRP 보강상실 시점의 처짐량이 감소하였으며, 240 사이클 이후에는 보강상실 시점에서의 급격한 내력저하가 거의 나타나지 않았다. 따라서 CFRP가 내구성 및 내화성을 지니고 있음에도 불구하고 열화에 따른 모재의 단면손상으로 인해 CFRP의 보강성능 저하가 발생하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부(04 핵심기술 C02) 지원 사업으로 이루어진 것이고, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21사업의 지원비를 받았으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. J.A.O. Barros, S.J.E. Dias, J.L.T. Lima, Efficacy of CFRP-based techniques for the flexural and shear strengthening of concrete beams, *Cement & Concrete Composites*, 2007, 29, 203-217
2. Björn Ta'ljsten, Strengthening concrete beams for shear with CFRP sheets, *Construction and Building Materials*, 2003, 17, 15-26
3. 강대언, 우현수, 이원호, FRP와 콘크리트와의 부착성능에 관한 연구, *대한건축학회 논문집(구조계)*, 2006, 22(6), 13-20