

GFRP Bar 및 GSP로 보수된 철근 콘크리트 보의 피로강도 연구 A Study on the Fatigue Strength of the Reinforced Concrete Beams Repaired with Glass Fiber Reinforced Polymer(GFRP) Bar and Glass Fiber Steel Plate(GSP)

김재영* · 김충호**

Jae Young Kim* and Chung Ho Kim**

요 지 : 손상된 철근콘크리트 보를 모의하기 위해 사전균열을 발생시킨 후, GFRP Bar와 GSP 매입공법으로 보수하여 피로실험을 수행하였다. 피로실험 결과, 실험보는 피로하중 초기 사이클에서 대부분의 잔류처짐과 균열이 발생하고 사이클 수에 따른 이들의 증가율은 미미하였다. 보수보의 정적강도는 보수하지 않은 보에 비해 크게 증가하였지만, 피로강도는 감소하였다. S-N 곡선에서, GFRP Bar 보수보의 피로강도는 정적강도의 58%, GSP 보수보의 피로강도는 52%였다.

핵심용어 : GFRP Bar, GSP, 사전균열, 피로실험, 피로강도

Abstract : After developing the pre-crack to simulate a damaged reinforced concrete beam, fatigue test was conducted on the beam repaired by GFRP Bar and GSP embedded method. In the result of fatigue test , most residual displacement and crack of the experimental beams occurs in the early loading cycle and an increasing rate of these due to number of cycles were insignificant. Comparing with a non-repaired beam, a static strength of the repaired beam greatly increased , but fatigue strength decreased. In S-N curves, fatigue strength of the beam repaired by GFRP Bar and GSP was 58%, 52 % of the static strength respectively.

Keywords : GFRP Bar, GSP, pre-crack, fatigue test, fatigue strength

1. 서 론

해양공간 개발이 활발히 진행됨에 따라 해양 구조물이 증가하고, 이에 따라 노후화된 해양구조물의 보수보강의 필요성도 커지고 있다. 염해에 직접 노출되는 해양 구조물의 보강재는 내식성 및 고강도가 필수적으로 요구된다(김황, 2008).

고강도와 해수에 대한 내식성을 가진 보수재료 중 현재 국내외에서 FRP를 이용한 보수·보강공법에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 FRP Bar 및 GSP 매입공법은 보수재인 FRP의 부착과 정착의 문제점을 해결할 수 있고, 매입됨으로서 해수에 직접 노출되지 않는 장점이 있어 해양구조물의 보수공법으로 적합하다.

그러나 FRP 매입공법의 유효성을 검증하는 과정으로 행

해진 대부분의 연구들은 보수 또는 보강한 부재의 극한 거동을 정적으로 파악하는데 그치고 있다(김 등, 2007). 이는 해양구조물이 받는 반복하중에서 발생하는 보수 또는 보강능력의 저하나 거동특성에 대해서는 충분히 설명하지 못한다. 따라서 본 연구는 사용 중인 구조물의 손상을 모의하기 위해 보의 허용처짐에 대응하는 하중을 가하여 균열을 발생시킨 후, GFRP Bar와 GSP를 매입, 보수하여 정적실험과 피로실험을 수행하여 S-N 곡선을 작성하고 피로 거동을 규명하였다.

2. 실험보의 제작

2.1 재료특성

실험보 콘크리트의 설계기준강도는 24 MPa, 매입용 되

*경성대학교 대학원 공학석사(Kyungshu Univ. Graduate School, Master)

**경성대학교 건설·환경공학부(Corresponding author, Dept. of Civil & Environmental Eng. Kyungshu Univ. 314-79 Daeyeon-Dong Nam-Gu Busan 608-736 Korea, chkim@ks.ac.kr)

Table 1. Properties of FRP

	Tensile Strength(MPa)	Modulus of elasticity(MPa)
GFRP Bar	2,352	1.2*10
GSP(kN/100 mm)	155	93,200



Fig. 1. Shape of GFRP Bar.

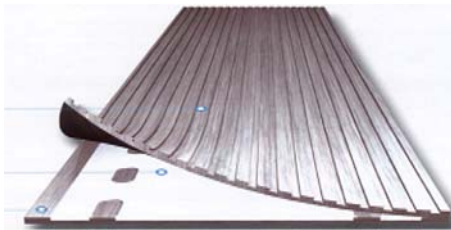


Fig. 2. Shape of GSP.

메움 모르타르의 부착강도 및 압축강도는 각각 2.0 MPa, 45 MPa, 철근은 SD35를 사용하였다. 보수재인 GFRP Bar와 GSP의 재료특성은 Table 1과 같고, 이들의 형상은 Fig. 1, 2와 같다. GSP는 유리섬유와 강판(0.8 mm)을 열경화 합성 수지로 함침하여 제작된 합성재료이다.

2.2 실험보의 제원 및 명칭

실험보는 높이 250 mm, 폭 150 mm, 길이 2400 mm의 복철근 직사각형보로서 인장철근은 2-D13, 압축철근은 2-D10을 배근하였다. 휨과파를 유도하기 위해 D10의 스티럽을 전단 구간에 Fig. 3과 같이 배치하였다.

사용 중 발생한 손상을 모의하기 위해 허용처짐(2200/300=7mm)에 대응하는 하중을 재하하여 균열을 발생시킨 후, 폭 90 mm, 깊이 30 mm의 홈을 파서 2-φ 9 mm GFRP Bar 와 두께 2.35 mm, 폭 90 mm의 GSP를 각각 앵커핀 및

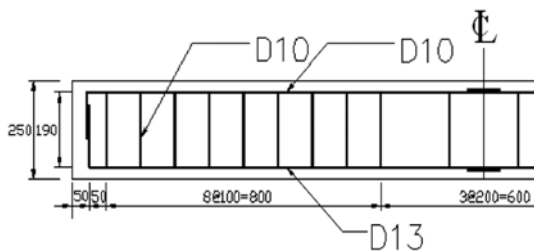


Fig. 3. Dimension of the test beam.

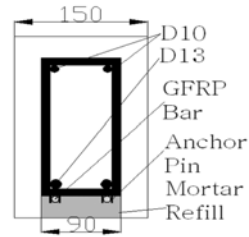


Fig. 4. Repaired section by GFRP Bar.

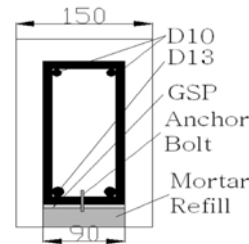


Fig. 5. Repaired section by GSP.

앵커볼트로 정착하고 되메움 모르타르로 충전하였다. 실험보의 보수단면은 Fig. 4, 5과 같다.

실험에 사용된 보는 모두 10개이고, 실험보의 명칭은, SRS는 사전균열을 도입하지 않은 건전보, GFRS 및 GSRFS는 각각 GFRP Bar, GSP 보수보의 정재하 실험보이다. SRF, GFRF, GSRF는 각각 건전보, GFRP Bar 보수보, GSP 보수보의 피로실험을 의미하며, 명칭 뒤의 숫자는 각 실험보의 정적최대하중에 대한 피로하중의 비(%)를 나타낸다.

3. 피로 실험

3.1 실험방법

3.1.1 피로하중

실험보의 정적재하 실험을 먼저 수행하여 보의 최대정적강도를 구하고, 이를 기준으로 피로하중의 최대하중 수준을 결정하였다. 피로하중 형태는 정현파로서 주파수는 1.5 Hz, 응력비(R)는 0.1이었다. 피로실험은 100만회 이후의 S-N 곡선의 추이를 관찰하기 위해서 보수보가 파괴될 때 까지 수행되었다.

3.1.2 재하장치 및 측정방법

재하실험 장치는 MTS사의 250 kN 용량의 Actuator를 사용하였다. 보 중앙의 처짐은 LVDT를 이용하고, 철근과 보강재의 변형률은 TDS 601로 측정하였다. 피로실험 중 실험보의 추락위험을 방지하기 위해서 Fig. 6처럼 지점부

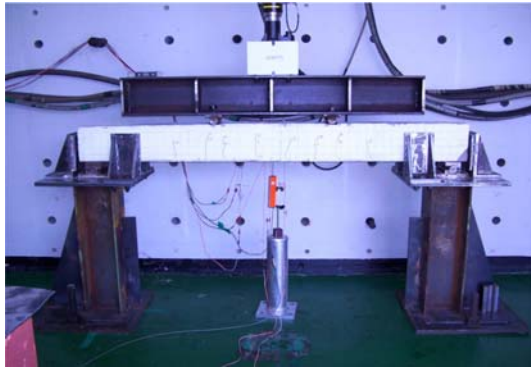


Fig. 6. Setting of test beam.

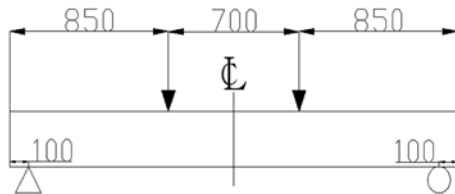


Fig. 7. Detail of load point & Support.

에 Guide wall을 설치하였다. 실험보의 구성은 Fig. 6과 같고, 재하점 및 지점 상세는 Fig. 7과 같다.

3.2 실험결과 및 분석

3.2.1 정적재하 실험

실험보의 정적 강도를 획득하여 피로하중의 수준을 결정하고, 보수효과를 확인하기 위해 수행한 정적재하 실험의 결과는 Table 2와 같고, 이에 대한 하중-처짐 그래프는 Fig. 8과 같다. GSRs는 항복하중과 최대하중이 SRS에 비해서 각각 25(60%), 40kN(100%) 증가 되었고, GFRS의 경우는 항복하중 변화 없이 최대하중만 20kN(50%) 증가하였다. 이는 GSRs의 넓은 부착면적과 앵커볼트의 강력한 부착효과에 의해 발현된 것이고, GFRS의 경우는 항복 이후 다소의 부착력 상실에 그 원인이 있다. 따라서 GSP 보강의 경우는 연성의 부족으로 실제 적용 시 주의가 필요할 것으로 판단된다. 이는 선행연구(김 등, 2007)에서도 확인할 수 있었다.

Table 2. Result of static test

Specimen	Initial crack load	Yield load	Ultimate load	Max. displ.
SRS	10 kN	43 kN	45 kN	63 mm
GFRS	11 kN	43 kN	63 kN	54 mm
GSRs	11 kN	65 kN	80 kN	27 mm

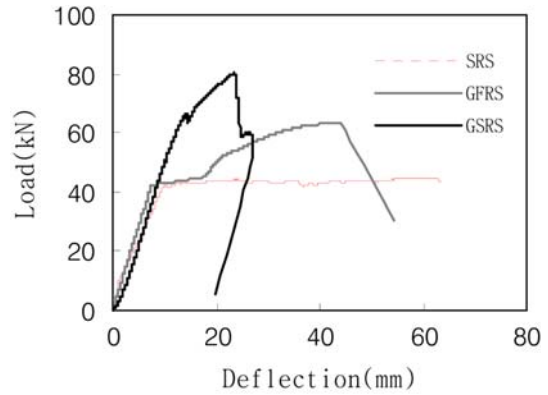
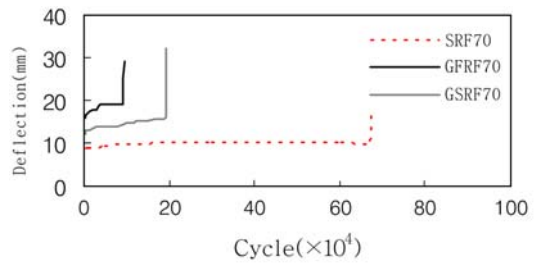
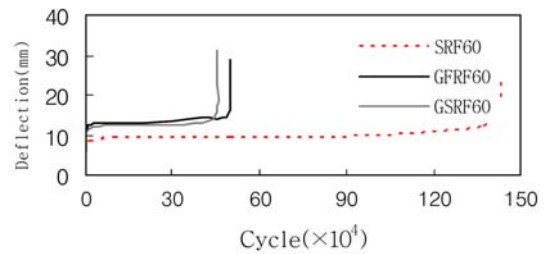


Fig. 8. Load -deflection curve of each test beam.



a) Load level, 70%.



b) Load level, 60%

Fig. 9. Deflection - cycle curves.

3.2.2 피로실험

1) 처짐-사이클 곡선

Fig. 9의 a), b)는 하중수준(정적최대하중에 대한 최대 피로하중의 비) 70%, 60%에 대한 각 실험보들의 처짐-사이클 곡선이다. 처짐의 크기는 GFRF, GSRF, SRF의 순으로 GSP 보수효과가 GFRP 보수효과 보다 우수하였다. 사이클별 처짐의 증가패턴은 두 경우에 동일하였다. 한편 처짐의 대부분은 초기 약 100 사이클 이내에서 발생하였다. 이것은 초기균열 및 초기처짐 등이 사이클 증가에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단할 수 있다.

2) 강성도-사이클 곡선

Fig. 10은 재하 사이클 증가에 따른 하중수준별 강성도

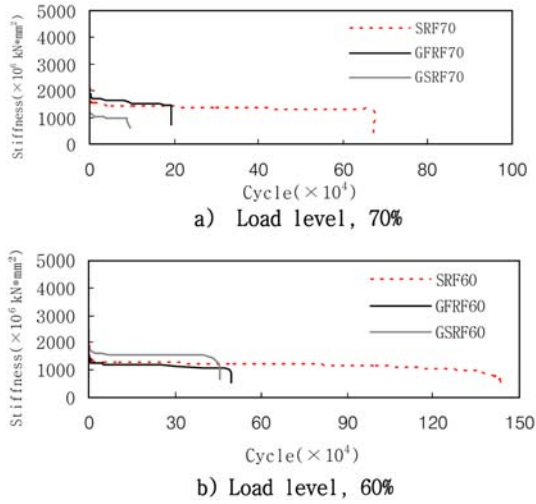


Fig. 10. Stiffness degradation curves for load level.

의 저하를 나타낸 것이다. 하중수준 70%의 경우는 GSP 보수보의 강성도가 크고, 하중수준 60%에서는 GFRP 보수보의 강성도가 크게 나타났다. 이러한 현상은 하중증가가 변위증가보다 강성도 변화에 민감함을 나타내는 것으로 추정할 수 있다.

3) S-N 곡선

Fig. 11은 각 보수보에 대한 S-N 곡선을 그린 것이다. SRF의 피로강도가 크고, GFRF 및 GSRF의 피로강도는 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 콘크리트 구조물의 피로 한도 100만 사이클에 대응하는 SRF, GFRF, GSRF의 피로강도는 각각 정적강도의 68%, 58%, 52% 이었다. 이러

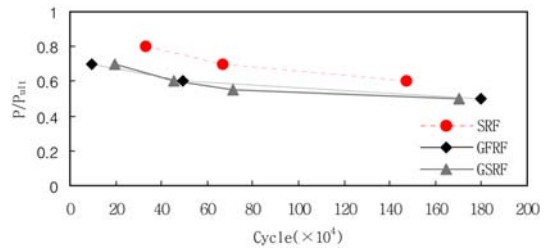


Fig. 11. S-N curves.

한 결과는 일반적인 철근콘크리트 보의 피로강도 50~60%에 접근하는 값으로, 보수에 의한 보의 피로강도 증가효과는 없는 것으로 판단할 수 있다.

4) 피로파괴 형태

Fig. 12는 실험보들의 피로파괴 형태를 나타낸 것이다. 파괴 시의 특성은 변위의 폭증과 더불어 균열 폭의 급속한 확대로서 피로파괴를 정의할 수 있는 경계는 분명하였다. GFRP 보수보의 파괴는 지점부 인근에서 발생한 사인장 균열의 확대에 의한 전단압축파괴이고, GSP 보수보의 경우는 휨에 의한 보 중앙부의 GSP의 파단에 의한 인장부 보수재 파괴였다. 두 경우 재하수준 60%가 70%보다 파괴 시 균열의 개구폭이 크고 극렬한 파괴가 발생하였다. 이는 낮은 하중 수준에서 처짐량이 작아 재하 횟수 당 에너지 소산량이 작기 때문에 종국파괴 시 일시에 방출되는 에너지량은 더 크기 때문으로 판단된다. 한편 파괴 시의 처짐은 GFRP Bar 보수보가 크게 나타나 GSP 보수보 보다 연성거동을 하였다.

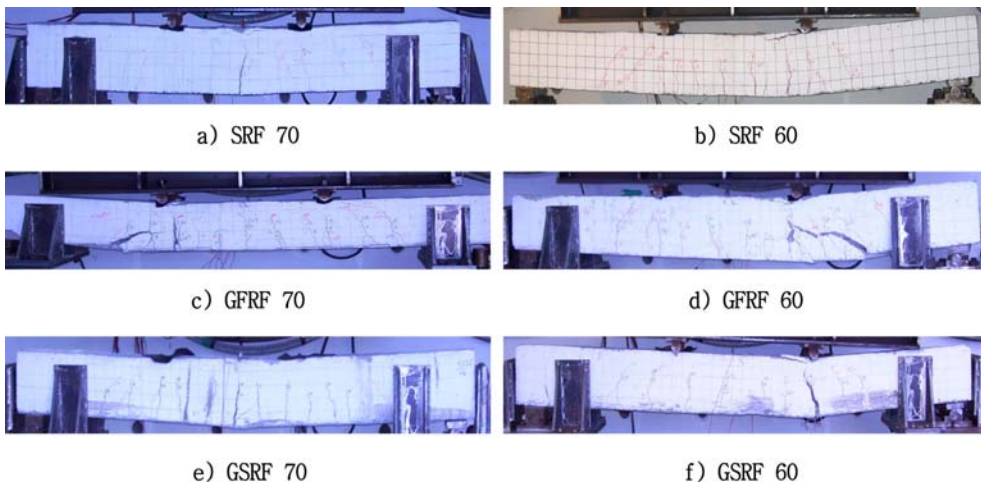


Fig. 12. Failure of test beams.

4. 결 론

이 연구는 사전가력으로 발생된 균열에 의해 손상이 모의된 철근콘크리트 보를 GFRP Bar 매입공법과 GSP 매입공법으로 보수하고, 정적재하실험 및 피로실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) GSRs는 항복하중과 최대하중이 SRS에 비해서 각각 25(60%), 40 kN(100%) 증가되었고, GFRS의 경우는 항복하중 증가 없이 최대하중만 20 kN(50%) 증가하였다. 이는 GSP의 넓은 부착면적과 앵커볼트의 강력한 정착력에 의해 발현된 것이고, GFRS의 경우는 철근의 항복이후 보수재의 활동에 의한 부착 및 정착력 상실에 그 원인이 있다.

(2) 피로실험 결과, GFRF, GSRF 모두 초기 약 100회 이내의 재하에서 대부분의 처짐이 발생하고, 이후의 사이클 증가에 따른 처짐량의 증가는 적었다. 또한 초기의 잔류처짐 발생에도 불구하고 사이클 증가에 따라 파괴전까지 탄성거동을 나타냄으로서 보수보의 경우도 철근콘크리트 보의 피로파괴 특성을 함께하는 것이 확인되었다.

(3) GFRP Bar 보수보의 파괴는 사인장 균열의 확대에 의한 전단압축파괴이고, GSP 보수보의 파괴는 인장부 보수재 GSP의 파단이었다. 두 경우 재하수준 60%가 70%보다 파괴 시 균열의 개구폭이 크고, 극렬한 파괴가 발생하였다. 피로실험에서의 보수보의 손상은 사이클 수보다 하중레벨에 민감함이 확인되었다.

(4) S-N 곡선에서, 보수보들이 건전보에 비해 정적강도는 크지만 피로강도는 낮았다. SRF는 정적강도의 62%,

GFRP Bar 보수보는 58%, GSP 보수보는 52%이었다. 철근콘크리트보의 일반적인 피로강도 50~65%에 근접함으로써 보수보의 정적강도 증가효과는 크지만 피로강도의 증가효과는 없는 것으로 판단할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(05지역특성 B04-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김충호, 황윤희 (2008). GFRP 보강 내염성 콘크리트 보의 해양구조부재로서의 적용성 검토. 한국해양공학회 논문집, 22(5), 94-99.
- 김충호, 장희석, 고신웅 (2007). 유리섬유-강 복합판으로 보강된 RC보의 파괴 특성, 한국구조물진단학회, 11(5), 153-159.
- 박정용, 김성도, 조백순, 김인태, 정진환 (2006). 탄소섬유시트로 보강된 RC보의 피로구성 향상에 관한 연구, 한국구조물진단학회, 10(6), 205-212.
- 곽계환, 박종건, 장기웅 (1993). 폴리머 콘크리트 보와 강섬유 콘크리트 보의 전단 피로거동에 관한 실험적 연구, 대한토목학회 학술발표회 개요집, 103-106.

Received April 4, 2009

Accepted April 27, 2009