

# FRP 보강근을 사용한 콘크리트 휨부재의 정적 및 피로특성에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study for Flexural Characteristic of Concrete Beam Reinforced with FRP Rebar under Static and Fatigue

심종성\*      박성재\*\*      강태성\*\*\*      권동욱\*\*\*\*      이기홍\*\*\*\*  
Sim, Jongsung      Park, Sungjae      Kang, Taesung      Kwon, Dongwook      Lee, Kihong

### ABSTRACT

Corrosion of steel in the reinforced concrete structures is one of the main reason of degradation. It causes that lifetime of structures is shortened and maintenance cost is increased. And it also causes degradation of structures like bridges which are under repeated load. So, many research have been performed about FRP rebar. But there are few research about FRP rebar under fatigue. This study is to examine flexural characteristic of concrete beam reinforced with FRP(CFRP, GFRP) rebar under static and fatigue for considering the application.

The specimens that used in this study are designed by ACI 440.1R-06 and reinforced with CFRP(CR) or GFRP(GR) overly. In the result of static bending test, all specimens were failed at compression phase. In fatigue test, the fatigue stress level was 60%, 70% or 80% of the static bending strength. Most of the specimens seemed to be compressive failure, but CR-60 and CR-70 specimens were failed with rupturing of tension bar.

### 요약

철근 콘크리트 구조물의 철근 부식은 구조물의 성능 저하의 주요한 원인 중 하나이다. 철근 부식은 구조물의 수명을 단축시켜 막대한 유지 관리 비용을 요구하게 된다. 또한 이러한 철근의 부식은 주기적인 반복하중을 받는 교량이나 도로와 같은 구조물들의 구조적 성능저하를 가중시키는 요인이 되고 있다. 이러한 이유들로 인해 철근을 대체할 수 있는 FRP 보강근의 사용에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 국내외적으로 FRP 보강근의 피로시험에 대한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내외로 상용화된 FRP(GFRP, CFRP) 보강근의 실제 구조물에 대한 적용가능성을 고찰하기위해 휨 보강시험체의 인장부 보강근으로 사용하여 정적 및 피로 성능을 검증하고자 한다.

본 연구에서 사용된 시험체는 ACI 440.1R-06으로 설계되었으며, CFRP 보강근으로 보강된 시험체(CR)와 GFRP 보강근으로 보강된 시험체(GR)는 과보강 단면으로 설계되었다. 정적 휨 실험을 수행한 결과, CR 시험체와 GR 시험체 모두 콘크리트 보의 상단 압축부가 파괴되는 것을 확인할 수 있었다. 피로 실험시 피로응력수준은 정적 휨 강도의 60%, 70%, 80%로 하여 실험을 수행하였다. 대부분의 시험체가 압축 파괴 양상을 보였지만 CR-60과 CR-70 시험체는 인장부 보강근의 파단으로 인한 파괴를 확인할 수 있었다. 피로 실험결과를 바탕으로 회귀분석을 통해 S-N 상관도를 적용하여 S-N 관계식을 얻을 수 있었다.

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료  
\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

## 1. 서 론

철근 콘크리트 구조물의 철근 부식은 구조물의 구조적 기능을 저하시키고, 수명을 단축시켜 막대한 유지 관리 비용을 요구하게 된다. 또한 철근 부식은 주기적인 반복하중을 받는 교량과 같은 구조물들의 구조적 성능저하를 가속시키는 요인이 되고 있다. 이러한 이유들로 인해 철근을 대체할 수 있는 FRP 보강근의 사용에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서는 국내에 상용화된 FRP(GFRP, CFRP) 보강근의 실제 구조물에 대한 적용가능성을 고찰한다. 휨 보강시험체의 주 보강근으로 사용하여 정적 및 피로 특성을 검증하고자 한다.

## 2. 시험체 설계 및 실험방법

### 2.1 시험체의 설계

본 연구에서 사용된 시험체의 상세는 <그림 1>과 같다. 시험체의 인장부에 사용된 FRP 보강근은 GFRP 보강근과 CFRP 보강근이며 압축부와 전단보강근은 D10 철근이며 이들의 물성은 <표 1>과 같다. 총 10개의 시험체가 제작되었다. 정적 시험체 각 2개씩과 피로시험체 각 3개씩이다.

ACI 440.1R-06으로 설계되었으며, CFRP 보강근을 사용한 시험체는 균형보강비 0.00187보다 큰 0.00572의 보강비를 사용하였으며 GFRP 보강근을 사용한 시험체는 균형보강비 0.00353보다 큰 0.00572의 보강비를 사용하여 모든 시험체는 과보강 단면으로 설계하였다.

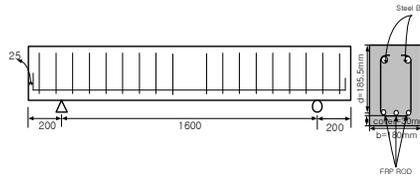


그림 1 시험체 상세

표 1 시험체에 사용된 FRP 보강근과 철근의 물성

	직경	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$\epsilon_y$	$\epsilon_{fu}$	$E_s$ (MPa)	비고
Steel	D10	300		0.003		$2.0 \times 10^5$	압축철근/전단철근
CFRP	D9	-	2298.7	-	0.016	$1.52 \times 10^5$	주보강근
GFRP	D9	-	1087.4	-	0.02	$0.54 \times 10^5$	주보강근

### 2.2 실험 방법

정적 실험시 시험체에 대한 가력은 MTS사의 250kN 용량의 유압식 가력기를 사용하여 1mm/min의 변위제어를 중력방향으로 4점 재하를 실시하였다.

피로 실험시 진동수는 3Hz로 설정하였다. 피로시험체의 하중재하 응력수준은 정적 휨 강도의 60%, 70%, 80%로 결정하였다. 각 시험체는 100만회까지를 피로한계로 하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 정적 휨 실험

<표 2>는 실험결과를 나타내었다. CR과 GR 휨 시험체 상단부의 파괴가 발생하였으며 최종 파괴시까지 보강근의 Pull-out 현상 및 콘크리트 피복의 탈락은 발견되지 않았다.

표 2 정적 실험 결과

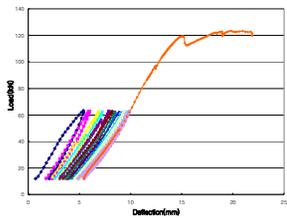
시험체명	초기균열(kN)	파괴하중(kN)	변위(mm)	최대균열폭(mm)	파괴형태
CR-1	12	102.24	18	10	압축파괴
CR-2	11	88.26	25	4	압축파괴
GR-1	10	74.14	49	8	압축파괴
GR-2	10	70.89	42	8	압축파괴

### 3.2 피로 실험

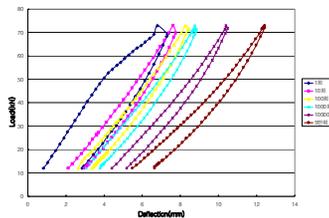
피로실험결과는 <표 3>과 같다. CR 시험체의 경우, 정적 실험과 마찬가지로 압축부의 파괴가 발생하였다. 그에 비해 GR 시험체의 경우, GR-80 시험체만 압축부의 파괴가 발생하였고 GR-60와 GR-70 시험체는 인장부 보강근의 파단으로 인한 파괴를 확인할 수 있었다. 그림 2는 피로시험체의 중앙부에서의 하중-처짐 곡선을 보여주고 있다.

표 3 피로실험 결과

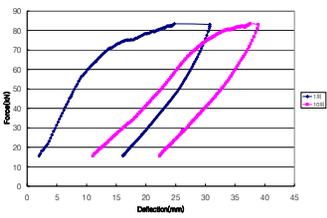
시험체	응력수준	피로횟수	정적파괴하중(kN)	파괴형태
CR-60	60%	100만회	120.45	압축파괴
CR-70	70%	60768회	-	압축파괴
CR-80	80%	62회	-	압축파괴
GR-60	60%	16393회	-	인장부 보강근 파괴
GR-70	70%	4300회	-	인장부 보강근 파괴
GR-80	80%	1190회	-	압축파괴



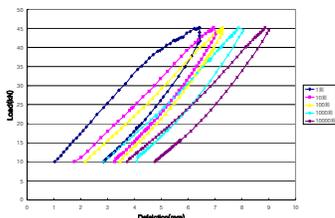
(a) CR-60 하중-처짐 곡선



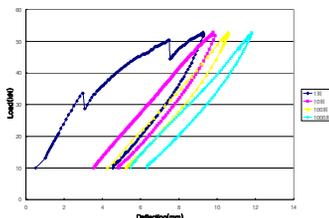
(b) CR-70 하중-처짐 곡선



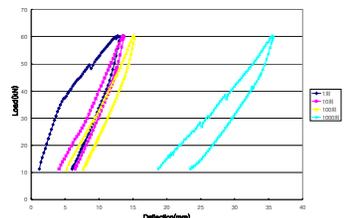
(c) CR-80 하중-처짐 곡선



(d) GR-60 하중-처짐 곡선



(e) GR-70 하중-처짐 곡선

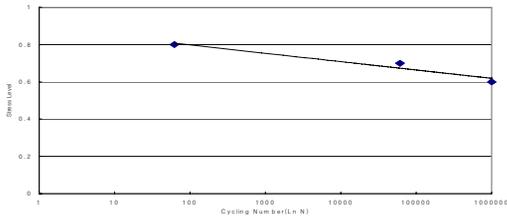


(f) GR-80 하중-처짐 곡선

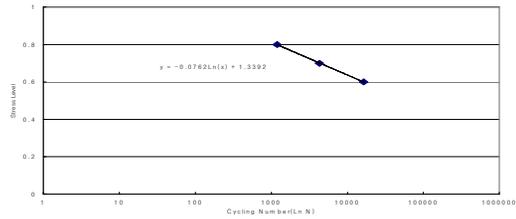
그림 2 각 시험체별 하중-처짐 곡선

### 4. S-N 상관도

피로 실험에서 피로하중과 피로수명과의 관계를 가장 잘 나타내는 식은 S-N 곡선방정식이다. 각 시험체에 대한 피로수명과 피로하중과의 관계를 회귀분석하여 S-N 곡선방정식을 도출할 수 있다. 그림 3은 피로시험결과를 바탕으로 회귀분석하여 나온 S-N 상관도이다.



(a) CR 시험체의 S-N 상관도



(b) GR 시험체의 S-N 상관도

그림 3 각 시험체별 S-N 상관도

$$\frac{(f'_r)_{\max}}{f'_r} = a + b \ln(N) \quad (1)$$

실험으로부터 얻은 휨 피로하중과 피로수명을 가지고 식 (1)에 알맞은 상수들을 직선 회귀분석을 통해 CFRP와 GFRP로 보강된 콘크리트 보의 피로하중에 대한 피로수명을 나타낸 S-N 관계식은 <표 4>와 같다.

표 4 S-N 관계식

시험체	S-N 관계식
CR	$y = -0.0195 \ln(x) + 0.8881$
GR	$y = -0.0762 \ln(x) + 1.3392$

## 5. 결론

본 연구에서는 국내에 상용화된 2종류의 FRP 보강근인 CFRP 보강근, GFRP 보강근을 사용하여 정적 거동 및 피로 특성을 파악하기 위하여 휨 성능 시험을 수행하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정적 실험 결과 CR 시험체와 GR 시험체는 인장부의 강성이 높아 압축부의 파괴가 관찰되었다. CFRP 보강근과 GFRP 보강근으로 보강된 구조물의 경우 과보강으로 인한 압축부의 파괴를 막기 위하여 사용하중에서의 적절한 설계 강도의 산정이 필요할 것으로 판단된다.

2. 피로실험시 CR 시험체와 GR-80의 경우 정적 시험과 마찬가지로 압축부의 파괴를 나타냈으나 GR-60, GR70 시험체의 경우에는 낮은 응력 수준의 시험체는 인장부 보강근의 파단으로 인한 파괴가 발생하였다.

3. 피로실험결과를 바탕으로 S-N 상관도와 S-N 관계식을 산정하였다. 추후 많은 연구를 통해 본 연구에서 유도된 S-N 상관도와 관계식과의 비교·분석을 통해 보완이 필요할 것으로 판단된다.

이 논문은 2007년 한양대학교와 BK21의 공동연구로 수행되었으며, 저자들은 한양대학교 BK21 사업단과 동일기술공사의 아낌없는 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. ACI 440R. 1R-06(2006), "Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars", ACI Committee 440.
2. 한양대학교 외, "Hybrid FRP Rod를 활용한 콘크리트구조 모니터링 시스템 개발 연구보고서", 건설 핵심기술연구개발사업 제2차년도 중간보고서, 2005
3. 강태성, "피로하중을 받는 GFRP Rebar로 보강된 콘크리트 보의 휨·부착특성", 한양대학교 석사학위논문, 2007