

GFRP의 화학 환경에 대한 내구성 시험

Experimental Study of Durability of GFRP for Chemical Environment

유 영 준* 박 영 환** 김 형 열*** 문 창 권**** 이 승 렬*****
You, Young Jun Park, Young Hwan Kim, Hyeong Yeol Moon, Chang Kwon Lee, Seong Ryul

ABSTRACT

This paper presents experimental results for durability performance of GFRP composite exposed to various environmental conditions. Specimens were conditioned for 7 environmental cases and immersed up to 150 days. A total of 720 specimens were prepared and tested for tensile strength for each immersion time. The results indicate that the tensile strength of the conditioned specimens was significantly reduced, regardless of the environmental factors considered, due to the degradation of GFRP.

1. 서 론

철근의 부식은 철근 콘크리트(이하 RC) 구조물의 수명을 단축시키는 원인 중 한 가지로서 공용기간 중에 많은 유지관리비용을 발생시키고 있다. 철근의 부식은 RC 구조물의 구조문제가 아닌 재료문제가 기 때문에 사용재료가 바뀌지 않는 한 이 문제를 극복하기는 어렵다. 따라서 필요한 경우에 동일한 중량을 갖는 철근에 비하여 고강도이며 내부식성이 뛰어난 것으로 알려져 있는 섬유복합재료(Fiber Reinforced Polymers, 이하 FRP)가 철근의 효과적인 대체재로 제안되고 있다(Mufti, A. 외, 1991). 한국건설기술연구원(2005)에서는 2003년부터 열악한 외부환경에 노출되어 가설되는 콘크리트 구조물의 보강근으로서 철근을 대체할 수 있는 FRP 보강근의 개발 및 적용기술 연구를 수행 중에 있다.

FRP 보강근을 철근 대체재로 사용하기 위해 요구되는 조건은 인장·부착성능과 같은 기본적인 역학적 성능과 지속하중이나 외부환경 등에 대한 내구성능이다. FRP 보강근은 주로 유리, 아라미드, 탄소와 같은 보강섬유와 비닐에스터나 폴리에스터와 같은 수지로 구성된다. FRP는 철근과 같은 부식은 발생하지 않으나 수분, 염화물, 알칼리, 동결융해작용, 자외선 등에 의해 재료의 열화가 발생할 수 있다. 이러한 재료적 열화는 역학적 성능 감소를 일으키기 때문에 이에 대한 특성 규명이 필요하다.

본 논문은 유리섬유와 비닐에스터를 사용하여 제작한 GFRP 복합체의 화학적 내구성능을 관찰하기 위한 실험연구로서 720개의 스트랜드 시편을 제작하여 다양한 화학조건과 컨디션닝 방법 및 기간에 대해 내구성 실험을 실시하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

**** 비회원, 부경대학교 공과대학 신소재공학부 교수

***** 비회원, 부경대학교 공과대학 신소재공학부 석사

2. 실험 연구

2.1 시편 제작

GFRP 복합체의 내구성 실험을 위하여 본 연구에서는 그림 1에 나타난 것과 같은 스트랜드형 시편을 총 790개 제작하였다. 시편제작에 사용된 주재료는 E-Glass(ER270FW, 한국화이버), Vinylester(RF1001, Cray Valley), 경화제(1.0%, MEKPO), 그리고 촉진제(0.4%, 코발트염)이며, 섬유함유율은 체적비를 기준하여 약 45%로 하였다. 수지가 함침된 섬유 다발을 직경 약 0.7 mm의 오리피스에 통과시킨 후 상온에서 24시간 경화시켰고, 이후 80℃ 2시간, 120℃ 2시간 경화시킨 후 그림 1에 나타난 것과 양단에 종이 탭을 부착시켜 완성하였다.

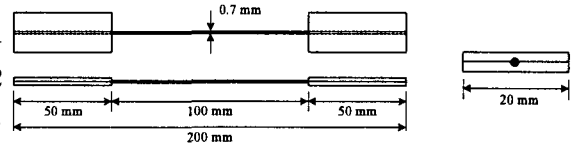


그림 1 스트랜드형 시편 제원

2.2 실험 계획

재료의 장기적인 내구성을 파악하기 위해 주로 사용되는 방법은 촉진실험법으로서 이는 해당 인자를 단기간 적용하여 장기적 성능 열화를 추정하는 방법이다. 내구성을 관찰하기 위한 환경조건은 알칼리 등 8가지 조건을 고려하였으며, 상온과 고온 상태를 모사하기 위하여 20℃, 60℃, 80℃의 온도를 설정하여 최고 150일의 기간을 고려하였다.

콘크리트 내부를 모사하기 위하여 KOH 1.4%, NaOH 1.0%, Ca(OH)₂ 0.16%를 수돗물에 용해시켜 pH 12.6의 강알칼리 용액을 제조하였고, 건조-습윤 반복조건은 시편을 60℃ 24시간 건조-20℃ 수돗물 24시간 침지 조건을 1회로 하여 총 25회 반복시켰다. 알칼리, 산, 염화물, 제설제, 황산염 조건은 해당 용액에 시편을 넣은 후 항온실에서 소요기간동안 침지시켰다. 이를 표 1에 정리하여 나타내었다.

영향인자별로 내구성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 소요기간동안 컨디셔닝된 시편을 대기에서 건조시킨 후 500 kgf 인장시험기(그림 2)를 사용하여 재하속도 2.0 mm/min로 인장강도 시험을 실시하였으며, 파단면을 주사식전자현미경(SEM)으로 관찰하였다.

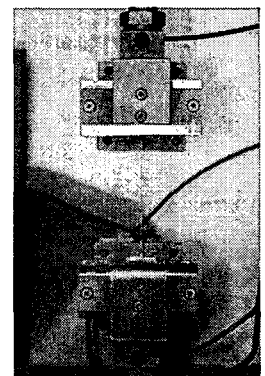


그림 2 인장시험

표 1 GFRP 스트랜드 시편의 컨디셔닝 조건 및 수량

시험 환경	기간(일)	온도(℃)	시편 수	총 시편 수
알칼리	0, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 150	20, 80	10	10×10×2=200
산	1, 2, 5, 10, 20, 30, 70	20	10	7×10=70
염화물	1, 2, 5, 10, 20, 30, 70	20	10	7×10=70
중류수	1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 150	20, 80	10	10×9×2=180
건조-습윤	2, 4, 10, 20, 30, 70	60, 20	10	6×10=60
장기-오븐건조	1, 2, 5, 10, 20, 30, 70	60	10	7×10=70
제설제	1, 2, 5, 10, 20, 30, 70	20	10	7×10=70
합계	-	-	-	720

3. 실험 결과

각 내구성 영향인자별로 컨디셔닝된 시편의 인장시험결과를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 인장강

도는 모든 환경조건 하에서 전반적으로 침지시간에 따라 감소하고 있음을 볼 수 있다. 특히 그림 3(a)로부터 같은 환경조건에서는 온도가 높은 환경에서 감소의 정도가 더 큰 것을 볼 수 있으며, 알칼리 환경일 경우가 수분환경일 경우에 비해 인장강도의 감소가 급격하게 일어났다. 비컨디셔닝된 스트랜드형 시편 10개의 평균인장강도는 2.72 ± 0.14 GPa로 30일 침지 후의 인장강도는 증류수 20°C 조건일 때 약 4%로 감소하여 다른 조건들에 비해 가장 낮은 감소율을 나타내었으며, 알칼리 용액 80°C인 경우에 약 94%가 감소하여 가장 높은 감소율을 보였다. 150일 침지 후에도 각각 27%, 97%의 감소율을 보여 GFRP 복합체는 고온의 알칼리 환경에 가장 취약한 것을 알 수 있었다.

유리섬유가 수분과 접촉하면 유리섬유의 알칼리 성분이 수분의 수소이온과 교환반응에 의해 수분이 용출되며 이러한 용출 현상에 의해 유리섬유는 침식된다. 특히 알칼리 환경에 접촉했을 경우에는 수분 속의 알칼리 이온에 의한 섬유 손상이 더 큰 것으로 알려져 있다. 특히 80°C 알칼리 용액에서의 시편의 급격한 인장강도 저하는 매트릭스와 유리섬유 사이의 계면부분 손상보다는 유리섬유 자체의 알칼리 이온에 의한 손상이 더 큰 영향으로 작용된 것으로 사료된다.

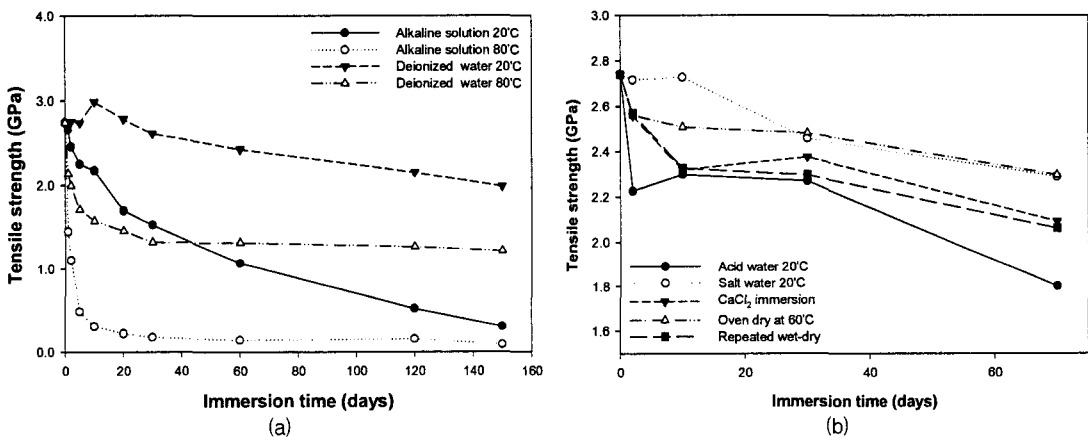


그림 3 침지시간에 따른 인장강도 변화율

그림 4는 인장시험 후 시편의 파단면에 대한 현미경 사진을 나타낸 것이다. 그림에서 비컨디셔닝된 시편은 파단면이 빗자루 모양으로 섬유가 많이 분산을 하고 있지만 알칼리 용액에 침지 시킨 것은 20일 침지 후부터는 이러한 모양이 거의 관찰되지 않았다. 특히 알칼리 80°C인 경우에는 20일 침지인 경우에도 이런 모양이 관찰되지 않아 침지시간에 크게 관계가 없이 매우 취성적인 파괴양상을 나타내고 있다. 다른 환경 조건에서는 70일 침지시간에 대해서도 섬유 상태가 양호하였고 이로 인해 그림 3에서와 같이 인장강도 감소율이 상대적으로 낮았다.

4. 결론

본 논문은 유리섬유와 비닐에스터를 사용하여 제작한 FRP 복합체의 화학적 내구성능을 관찰하기 위한 실험연구로서 720개의 스트랜드 시편을 제작하여 다양한 화학조건과 컨디셔닝 방법 및 기간에 대해 내구성 실험을 실시하였다. 이에 대한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 다양한 환경조건에 따라 다소 차이는 있었으나 전반적으로 스트랜드 시편의 인장강도는 컨디셔닝 기간과 온도가 증가할수록 크게 감소하였다. 특히 알칼리 용액 80°C에 침지된 시편의 경우 인장강도가 최고 94% 감소되어 가장 높은 감소율을 나타내었다.

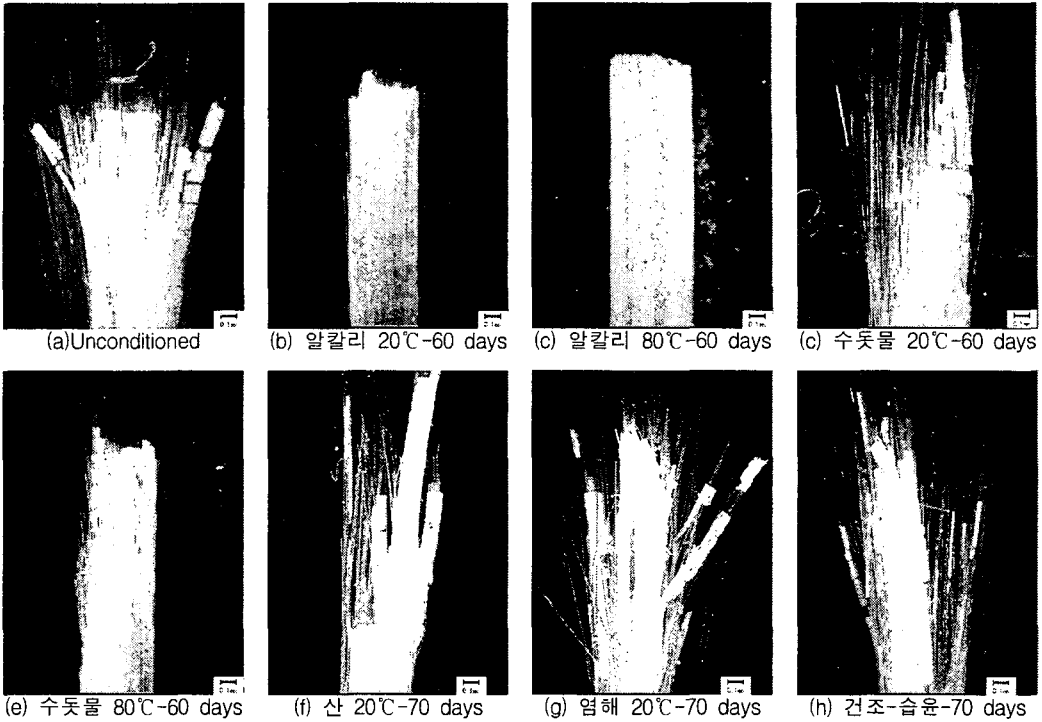


그림 4 컨디셔닝 조건별 파단면 예

- 2) 인장강도 시험 후 시편의 파단면을 관찰한 결과, 환경조건은 유리섬유와 매트릭스의 계면 뿐만 아니라 섬유 자체에도 열화를 발생시킴을 알 수 있었고, 이러한 열화가 GFRP 시편의 인장강도 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다.
- 3) 상기 결과로부터 알칼리와 같은 유해한 환경으로부터 GFRP 재료를 보호할 수 없는 경우 GFRP 재료를 콘크리트 구조물의 보강재 재료로 직접 활용하는 것은 적합하지 않다고 판단되며, FRP 보강재는 유해한 환경으로부터 구성재료를 보호할 수 있도록 재료와 단면을 구성하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 공공기술연구회 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발" 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Mufti, A., Erki, M. A., and Jaeger, L., eds., "Advanced composites materials with application to bridges", Canadian Society of Civil Engineers, Montreal, Canada, 1991.
2. 한국건설기술연구원, FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발, 2004.