

# 진공함침을 이용한 철근콘크리트 부재에서의 보강공법 개발

## Development of Strengthening Method Using the Vacuum Impregnation in RC Members

이 성 태<sup>1)\*</sup>      송 영 선<sup>2)</sup>  
Yi, Seong Tae      Song, Yeong Sun

### Abstract

Deterioration and weakening is advanced in compliance with flowing of time and the change of environment in RC structures. Consequently, strength and serviceability decreases, finally, the life of infrastructure shortens and safety characteristics decreases. Accordingly, in this study, a new method to develop a strengthening method using the vacuum impregnation, which increases durability of the infrastructure occurred the safety reduction due to the performance degradation and increases the life of infrastructure by improving the durability compared to the existing method, was planned. For flexural tests, the maximum strength was a low-end order from high order as follows: ① vacuum impregnation with 2 fold reinforcement, ② fiber sheet 2 fold reinforcement, ③ vacuum impregnation with 1 fold reinforcement, ④ fiber sheet 1 fold reinforcement, and ⑤ nothing. Also, for confirmation results about durability, when the fiber reinforcement is being exposed to the inferior environment, the remaining tensile strength exceeded of 90% or more for all environments. This is because the reinforcement used in this research shows the excellent resistance in severe environment.

**Keywords** : Vacuum impregnation, Strengthening method, Carbon fiber, RC members

### 1. 서 론

1970년대 이후 경제발전을 이룩하면서 지하철, 공동구, 고속도로, 댐과 같은 토목구조물과 주택문제를 해결하기 위한 고층의 공동주택 그리고 활발한 경제활동에 따른 대형의 상업 건축구조물 등이 급격히 건설되었다. 철근콘크리트 구조물은 시간의 흐름과 환경의 변화 등에 따라 중성화, 철근부식, 건조수축과 팽창으로 인한 표층부박리, 설계오류, 부실시공, 피로하중, 사용 및 노출 환경의 변화 등 재료적, 시공적, 구조적, 환경적 요인에 의하여 노후화 및 부실화가 진행되어 구조물의 내하력과 사용성이 저하되면서, 결국에는 수명의 단축은 물론, 내구성 및 안전성이 저하된다. 국내의 경우에는 90년대 대형 콘크리트 구조물의 붕괴사고 이후에 구조물 유지보수의 중요성이 인식되었고, 콘크리트 구조물도 공용기간의 증가에 따라 열화가 진행되고 있어 콘크리트 구조물의 보수·보강공사가 증가되고 있다. 이를 위해 구조적 거동이 우수하

고 경제성이 높은 보수·보강공법의 개발이 필요한 실정이다.

이러한 이유로 최근 들어 시설물의 유지관리 및 보수·보강 공법에 관하여 관심이 증가하고 있고 신소재를 포함한 신공법들이 많이 개발되고 있으며, 그 성능평가 및 체계적인 시공지침을 정립하는 활발한 연구활동이 진행되고 있다(오홍섭 등, 1996, 오병환 등, 1997, 양인환 등, 2009, 황현복과 이정운, 2007, 한만엽 등, 2006).

1980년대 콘크리트 구조물의 내하력 부족에 대응하기 위한 보강공법은 강관접착공법이나 외부프리스트레싱 공법과 같은 강재를 이용한 공법이었다. 그러나 이러한 공법들은 사하중이 증가하고, 상대적으로 낮은 강성, 부식 발생, 보강구조물 주변의 손상 등과 같은 문제점이 발견되었다. 1980년 후반부터 섬유시트(탄소섬유시트, 유리 섬유시트, 아라미드섬유시트)를 이용한 콘크리트 구조물 보강공법이 선진국을 중심으로 상용화되었다. 이러한 섬유시트 들은 모두 높은 강성과 탄성계수를 갖고 있기 때

1) 정회원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수, 교신저자

2) 정회원, 인하공업전문대학 항공지리정보과 교수

\* Corresponding author : yist@inhac.ac.kr 032-870-2237

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

문에 콘크리트 보강재로서 매우 우수한 역학적 특성을 가지고 있다(황진석, 1998, 장준환 등, 2007).

섬유시트를 이용한 보강공법들은 경량으로 작업성이 우수하고, 부식의 염려가 없으며, 고탄성, 고강도, 내염해, 내화학적 등 내구성이 우수하여 보강공사에 활발히 적용되고 있다. 그러나 섬유시트를 이용한 보강공사는 성능이 우수함에도 불구하고, 섬유시트의 함침 및 부착에 합성수지(에폭시)를 이용함으로써 내열성 및 내화성이 극히 취약하게 되고, 이로 인하여 화재 시 유독가스의 발생과 동시에 그 보강효과가 급격히 떨어져 귀중한 인명과 재산의 손실을 가져 올 수 있다. 또한, 섬유시트는 콘크리트 부재의 외부를 둘러싸아서 보강하므로 통기성이 원활하지 않으며, 내부나 외부에서 스며드는 수분을 밖으로 배출하기 힘들기 때문에 콘크리트의 성능을 저하시키는 원인을 제공한다.

따라서 기존의 각종 섬유시트를 이용한 보강공법의 내열성과 내화성능을 개선함으로써 철근콘크리트 구조물의 강도와 안정된 내용연수를 확보하고 구조물 붕괴로 인한 재해예방과 사회적 불안을 해소할 수 있는 기술의 정립 및 신기술 개발이 사회적으로 절실히 요구되고 있다.

최근 섬유시트 대신 섬유보강 플레이트를 이용한 보강방법이 철근 대용으로 노후된 콘크리트 구조물의 보강용으로 많이 사용되고 있다. 섬유보강 플레이트를 콘크리트에 부착하는 공법을 콘크리트 구조물의 보강공법에 적용할 경우, 부식이 발생하지 않기 때문에 열악한 환경에 노출된 콘크리트 구조물에 열화가 일어나지 않고 시공이 간편한 장점을 지니고 있지만, 콘크리트와 보강재인 섬유보강 플레이트의 부착이 제대로 이루어지지 않아서 보강효과를 발휘하지 못하는 단점을 지니고 있다.

따라서 기존 보강공법 중 섬유를 이용한 보강공법의 고탄성, 고강도, 내염해, 내화학적 등의 내구성이 우수한 장점과 단점인 부착력과 내화성능을 개선하고, 섬유보강 플레이트를 사용한 보강공법(오홍섭 등, 2008)의 경제성이 떨어지는 단점을 보완하여 철근콘크리트 구조물의 내력과 안정된 내용연수를 확보하고 구조물 붕괴로 인한 재해예방과 사회적 불안을 해소할 수 있는 신기술의 개발이 사회적으로 절실히 요구되고 있다.

이를 위해서 개발된 섬유보강복합재 매립 보강공법이나 섬유시트패널 보강공법의 봉이나 패널은 섬유를 에폭시에 함침시켜 만든 2차 제품으로서 성능이 우수하고 섬유시트 부착공법에 비해 공정이 단순한 장점이 있지만 2

차 제품제작에 따른 고비용으로 보강성능에 비해 공사금액이 높아서 경제성이 떨어지는 단점이 있다. 섬유보강복합재 매립이나 섬유시트패널 보강에서 보강재료 자체가 타 보강재료에 비해 고가이고, 요구 내력보다 봉이나 패널의 내력이 약간 적을 경우에 보강재의 크기가 다양하지 않기 때문에 같은 양의 봉이나 패널을 추가 매립 또는 부착해야 하므로 과보강 및 공사비의 증가로 이어져서 경제성이 낮아질 수가 있다. 그리고 일부 기술들은 비싼 대가를 지불하면서 외국에서 도입하고 있는 현실이다.

이에 본 연구에서는 성능저하로 안전성이 떨어진 구조물의 내하력을 증진시키고, 기존 공법보다 내구성을 향상시켜서 콘크리트 구조물의 수명을 최대화하는 보강공법을 개발하고자 한다. 이를 위해 진공함침을 이용하여 보강재 양을 쉽게 조절할 수 있는 기술을 도입함으로써 기존 공법에 비해 경제성이 우수하며 파괴 이전에 연성적인 거동을 동반하게 하여 구조물의 안전성을 도모하며 기존 콘크리트 구조물과 보강재를 일체화시킴으로써 하중 재하 시에 보강재와 기존 콘크리트가 같이 거동할 수 있는 공법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 및 측정

### 2.1 사용재료와 보강절차

#### 2.1.1 사용재료

본 연구에서 개발된 공법의 활용성을 높이고, 적용할 공법의 안전성을 확보하기 위해서는 이에 적합한 재료의 선택이 중요하다. Table 1과 2는 실험에 사용된 마감 모

Table 1 Efficiency of used mortar

item	efficiency standard
flexural strength(MPa)	69.1
compressive strength(MPa)	117.6
tensile shear adhesion strength(MPa)	12

Table 2 Efficiency of used Impregnation epoxy

item	efficiency standard
tensile strength(MPa)	54.4
flexural strength(MPa)	69.2
compressive strength(MPa)	164.0
tensile shear adhesion strength(MPa)	12.0
Charpy impact strength(KJ/m <sup>2</sup> )	5.8

르타르 및 함침용 에폭시의 성능을 나타낸 것이다.

### 2.1.2 보강절차

구조부재 하면에 홈을 만들고 보강재를 홈에 매립하면, 보강재가 외부에 직접노출이 되지 않기 때문에 기존 구조물과 보강재가 일체성을 확보할 수 있고, 외부환경으로 인한 구조부재의 열화를 방지할 수 있다. 또한, 보강재 설치 후에 진공함침기를 이용해서 보강재를 현장에서 직접 함침 함으로서 시공 후에 기존 콘크리트와 보강재의 부착력을 충분히 발휘할 수 있다. 열에 약한 섬유보강재를 홈에 삽입한 후에 에폭시 모르타르를 이용해서 콘크리트의 표면을 보호 마감함으로서 일정한 피복이 섬유보강재의 표면에 유지되면서, 외부환경에 직접노출이 되지 않기 때문에 화재로 인한 보강재 손상을 외부부착공법에 비해서 현저히 줄일 수 있다.

본 연구에서는 기존 기술의 문제점을 해결하고, 내구성 및 경제성을 향상시키기 위해서 기존 보강법과 다른 다음과 같은 절차를 가진 공법을 개발하였다.

- ① 치핑 및 물세척: 기존 콘크리트 면의 균열이나 중성화로 인해 성능발휘가 어려운 부분을 드릴이나 그라인더를 이용하여 철거하고 면을 처리한다. 이후 콘크리트 면에 남아있는 부유물이나 먼지 등을 물세척으로 제거해준다.
- ② 홈파기: 섬유보강재(원사)의 매입 부분에 일직선으로 줄눈 표시를 하고 절단기로 자른다. 매입홈 외에 FRP 거푸집이 들어갈 부분을 위해 단층으로 자른다. 매입홈의 자른 부분을 걷어내고 내부의 분진을 제거한다.
- ③ 앵커 구멍 천공: 앵커 삽입 위치를 선정하고 표시한 다음에 드릴을 사용하여 섬유삽입용 플라스틱 앵커가 들어갈 수 있게 구멍을 천공한다. 플라스틱 앵커의 직경보다 구멍의 크기가 커서는 안 되며 구멍 홈 내부의 분진을 완벽하게 제거한다.
- ④ 섬유삽입용 플라스틱 앵커의 설치: 보강에 들어갈 섬유보강재의 양을 정한 다음 섬유보강재를 절단하여 준비한다. 섬유보강재를 둘로 나누어 플라스틱 앵커 홈에 삽입한 후 날개를 접어 섬유보강재를 고정시킨 후에 앵커 구멍에 삽입한다. 이 삽입된 앵커에 나사못을 삽입시켜 섬유보강재가 끼워진 앵커를 구멍에 완전히 밀착, 고정시킨다.
- ⑤ FRP 거푸집 설치 및 마감 모르타르 타설: 홈 내부

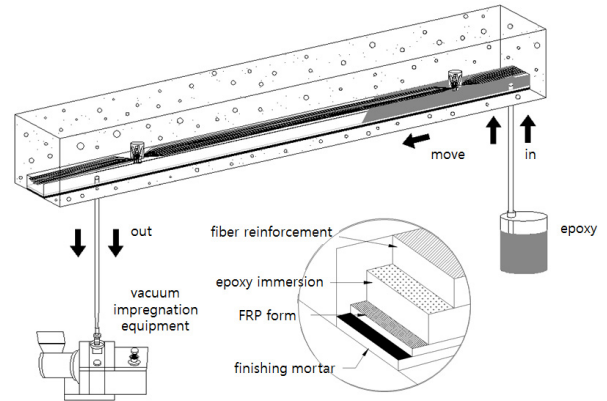


Fig. 1 Epoxy injection process using the vacuum impregnation equipment

깊이의 1/2부분에 FRP 거푸집을 부착하고 양 단부에 함침용 호스 구멍을 뚫고 연결한다. 레진 모르타르를 정량에 맞게 교반하여 주변 콘크리트 높이에 맞게 홈의 빈틈이 없게 깨끗이 마감한다.

- ⑥ 진공함침기를 이용한 에폭시 함침: 양쪽 단부에 설치한 호스를 한쪽은 진공함침기 흡입구에 연결하고 다른 한쪽은 미리 혼합해 놓은 함침용 에폭시에 연결한다. 진공함침기를 작동하여 함침을 시작하고 진공함침기 쪽으로 함침용 에폭시가 흘러나오면 홈 내부에 함침이 완료되었으므로 작동을 정지하고 주입구와 흡입구를 막는다.

Fig. 1은 진공함침기를 이용한 에폭시의 함침과정으로서 최종적인 보강공정을 나타내고 있다.

## 2.2 보강한 실험체에 대한 보강효과 실험

### 2.2.1 실험체 제작

휨 실험을 수행하기 위하여 총길이 1,400mm, 단면 160×160mm의 실험체를 제작하였다. 실험체는 보강이 없는 경우, 현재 많이 사용하고 있는 탄소섬유시트 1겹 보강한 경우, 2겹 보강한 경우로 나누어 제작하였고, 본 연구의 보강 성능을 검증하기 위해서 탄소섬유시트의 1겹과 동등한 양의 원사를 함침한 보강실험체와 탄소섬유시트 2겹과 동등한 양의 원사를 사용하여 함침한 실험체를 제작하였다.

실험체의 실지간은 1,200mm이고 인장철근의 피복두께는 40mm, 압축철근의 피복두께는 20mm로 하였다. 실험체의 형상과 치수는 Fig. 2에서와 같다. 인장 및 압축

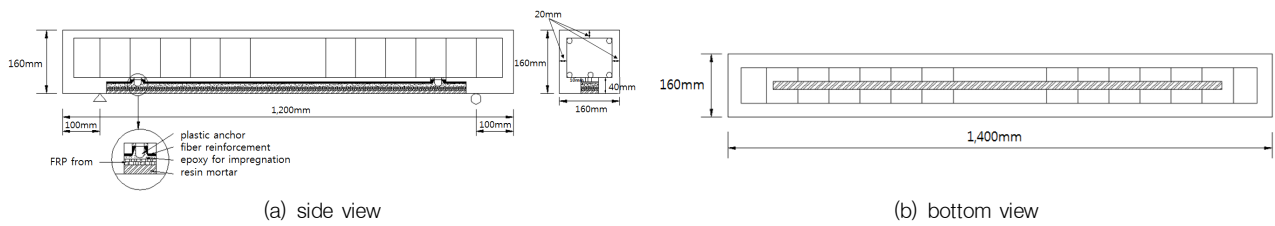


Fig. 2 Details of the specimens

Table 3 Concrete mixture proportion

W/C(%)	unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				air content (%)
	W	C	S	G	
48.2	164	340	856	950	3

Table 4 Physical properties of the reinforcing bar

title	unit weight (kg/m)	diameter (mm)	cross-sectional area (cm <sup>2</sup> )	circumference (cm)	yield point (MPa)	tensile strength (MPa)	elongation (%)
D10	0.56	9.53	0.7133	3.0	24 above	39~53	20 above

Table 5 Physical properties of carbon fiber

test item	value
weight (N/m <sup>2</sup> )	2
tensile load per unit width (N/cm)	3,900
elongation (%)	1.5
coef. of thermal expansion (/°C)	0.5×10 <sup>-6</sup>
thickness (mm)	0.11

Table 6 Specimen details for flexural tests

specimen name	No. of ply
N	0
CF1	1
CF1-SH	1
CF2	2
CF2-SH	2

철근 그리고 전단철근으로는 D10의 철근을 사용하였으며 콘크리트 설계강도는 25MPa로 설계하였고 실제 콘크리트 강도는 26.2MPa로 측정되었다.

Table 3에는 실험체의 제작을 위해 사용된 콘크리트의 배합비를, Table 4와 Table 5는 각각 철근과 탄소섬유의 물성치를 나타내고 있다.

### 2.2.2 실험체의 보강작업

준비된 실험체를 보강공법의 공정에 따라서 보강하였다. 보강공법은 노후화된 철근콘크리트 구조물을 보강하는 기존 방법과 유사하였는데 노후 콘크리트를 먼저 치핑하고 먼 처리 및 물청소를 실시하여 면을 정리한 다음 보강을 실시하였다. 이 연구에서 사용된 실험체는 신규 콘크리트이기 때문에 위의 먼 처리 공정을 생략하였다.

휨 실험을 위한 실험체로는 ① 무보강 실험체(N) ② 1겹 함침 보강 실험체(CF1) ③ 2겹 함침 보강 실험체(CF2) ④ 탄소섬유시트 1겹 보강 실험체(CF1-SH) ⑤ 탄소섬유시트 2겹 보강 실험체(CF2-SH)의 경우로 나누

어 제작하였고 각 실험체의 명칭과 보강현황을 요약하면 Table 6과 같다.

### 2.2.3 보강한 보의 보강효과 실험

휨 실험은 Fig. 3과 같이 준비된 실험체를 UTM의 중앙에 위치시키고 양쪽 단부에서 100mm 부분에 로울러 지점을 설치하였다. 또한 실험체 중앙에 정적변위계를 설치하였고 정적파괴하중의 가력방법은 보 중앙에 10cm 폭의 강판을 가력부재로 사용하여 로드셀 밑에 위치시킨 다음 가력하였다. 하중 재하 시 압축부분의 콘크리트가 파괴되거나 인장철근이 항복하는 경우 및 변위만 계속 증가할 경우 파괴로 판단하고 실험을 중단하였다.

### 2.2.4 탄소섬유보강재의 내구성 실험

탄소섬유보강재의 내구성을 평가하기 위하여 촉진열화 환경에 노출시킨 후 인장실험을 실시하였다. 인장실험에 사용되는 실험체로 내경 12mm(ACI 440)의 유리관 속에 원사를 삽입한 다음, 한쪽 끝을 막고 원사와 유리관 사

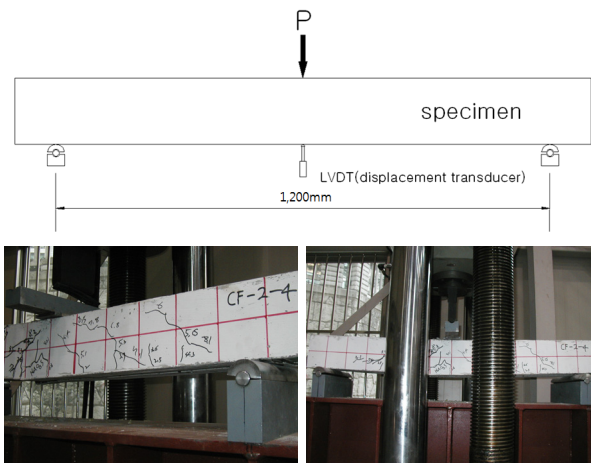


Fig. 3 Overall view of test set-up for flexural tests

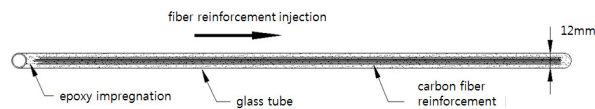


Fig. 4 Preparation of specimens

Table 7 Specimen size of carbon fiber reinforcement

specimen	diameter (mm)	gauge length (mm)	grip length (mm)	cross-sectional area (mm <sup>2</sup> )
carbon fiber reinforcement	11.7	200	150	108

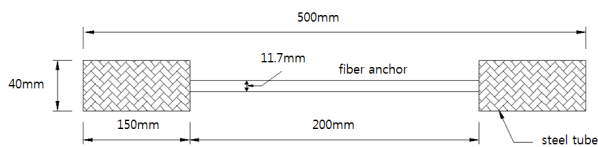


Fig. 5 Production and dimension of tensile specimens

이의 공극은 함침제(에폭시)를 사용하여 완전히 충진 (Fig. 4) 하였으며, 양생이 완료된 후에 유리관을 제거해서 섬유보강봉을 완성하였다. 최종적으로 구한 섬유보강봉의 치수는 Table 7에 나타내었다.

축진열화 환경에의 노출에 따른 인장실험을 위한 그림으로 외경 약 40mm의 강관을 사용하였다(Fig. 5). 인장실험 시에는 준비된 보강봉을 1,200kN 용량의 UTM에 설치하고 1mm/min 속도의 변위제어방식으로 실험을 수행하였다.

섬유보강재의 내구성능을 평가하기 위해 기존 연구자들이 제시한 환경조건을 참고로 하여 콘크리트 보강재로서 섬유보강재가 받을 수 있는 5가지의 노출조건인 알칼리 환경, 산 환경, 염해 환경, 황산염 침지, 동결-융해 반

복을 고려하였으며, 자세한 노출환경은 다음과 같다.

#### 1) 알칼리 환경

알칼리 환경에서 섬유보강재의 영향에 대한 성능을 알아보기 위해서 pH 12.6의 알칼리 용액에 50일과 100일간 침지하였다.

#### 2) 산 환경

섬유보강재의 산에 대한 영향을 평가하기 위하여 pH 2.92의 0.6% 아세트산용액에 섬유보강봉을 침지하였다. 산 용액에의 노출기간은 50일과 100일로 하였으며 용액의 온도는 60°C로 하였다.

#### 3) 염해 환경

염해에 대한 축진실험 방법은 염분의 농도와 온도를 증가시키는 방법이 있다. 섬유보강재의 염해에 대한 영향을 평가하기 위하여 3% NaCl 용액에 섬유보강봉을 침지하고 온도를 60°C로 하여 축진실험을 실시하였다. NaCl 용액의 노출기간은 100일간 침지시켰다.

#### 4) 황산염 침지

섬유보강재가 하수관거 등 황산염에 심한 영향을 받을 수 있는 환경에 노출되었을 때의 영향을 평가하기 위하여 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 100% 용액에 100일간 침지시켰다.

#### 5) 동결-융해 반복

섬유보강재의 동결-융해에 대한 저항성을 평가하기 위하여 KS F 2456에 따라 실험을 실시하였다.

내구성을 평가를 위한 인장실험은 Fig. 6에서와 같이 실험체 양쪽의 강관으로 된 그림을 UTM의 인장 그림에 위치시켜 고정시키고 인장하중을 가하였으며 변위측정을 위해 탄소섬유보강봉 부분에 정적변위계를 고정/설치하



Fig. 6 Overall view of test set-up for tensile tests



였다. 하중재하 시, 강관과 봉이 미끄러지거나 보강봉이 파단하면 파괴로 판단하고 실험을 중단하였다.

### 3. 실험 및 결과의 분석

#### 3.1 휨 실험체의 보강효과에 대한 실험결과 분석

휨 실험결과는 실험체의 종류를 무보강, 1겹 보강, 2겹 보강으로 구분하여 분석하였으며, 그 결과는 Table 8과 같은데 최대하중의 증가율은 기준 실험체(N)를 기준으로 나타내었다. 한편, Fig. 7은 실험체별 하중-변위곡선을 나타낸다.

섬유보강재의 보강 매수에 따른 하중-변위 곡선의 분석결과에서는 무보강과 탄소섬유시트 1겹 및 2겹 보강 그리고 이와 동등한 보강재 양을 매립 후 진공으로 함침해서 구한 실험결과로부터 탄소섬유시트의 보강에 따른 파괴하중을 검토하였다.

Table 8에서 알 수 있는 바와 같이 진공함침으로 2겹에 해당하는 보강을 수행한 실험체가 가장 높은 최대하중(87.90kN)을 보였고, 그 다음은 섬유시트 2겹을 보강한 실험체(82.40kN), 진공함침으로 1겹에 해당하는 보강을

수행한 실험체(77.50kN), 섬유시트 1겹을 보강한 실험체(71.61kN), 보강하지 않은 실험체(66.71kN) 순의 최대하중 값을 보여주었다. 이로부터 진공함침으로 2겹에 해당하는 보강을 했을 때는 보강하지 않았을 때보다 약 32%의 높은 하중 증가를 보여주고, 1겹에 해당하는 보강을 했을 때는 보강하지 않았을 때보다 약 16%의 하중 증가현상을 보여줌을 알 수 있다.

이러한 결과의 원인은 에폭시로 함침한 섬유보강재가 보강재로써의 역할을 충분히 수행하였으며, 이 섬유보강재가 함침 에폭시에 의해 완벽하게 함침되었고, 콘크리트와 일체화되었다고 판단할 수 있다.

모든 실험체는 초기 균열 모습에서 비슷한 양상을 보였으며, 기준 실험체(N)와 비교하여 다른 실험체들은 하중과 강성은 크나 취성적인 특성으로 인해 파괴시의 변위가 매우 작은 값을 보였다. 특히, 진공함침으로 섬유보강재를 1겹 또는 2겹 부착 보강한 실험체의 하중 증가량과 취성파괴의 경향은 일반적인 섬유시트 부착 보강을 1겹 또는 2겹 하였을 때의 하중 증가량과 유사한 모습을 보여준다. 그러나 일반적인 섬유시트의 부착 보강에서는 하중의 급격한 증가와 함께 최대하중 시 갑작스런 취성파괴를 보였는데, 이는 보강접수의 증가에 따라 실험체가 견디는 최대하중은 증가하였으나 섬유보강재의 재료특성인 취성적 영향 때문에 작은 변위에도 순간적인 취성파괴가 발생했음을 알 수 있다.

하지만 진공함침한 실험체는 일반적인 섬유시트의 부착 보강과는 달리 항복하중 이후 완만한 하중증가를 보였으며 최대하중 시, 갑작스런 취성파괴와는 달리 전단기의 영향으로 일부 연성적인 거동을 보여주며 파괴되는 모습을 보여주었다. 이에 진공함침을 이용한 공법이 구조물의 안전적인 측면에서 기존 공법보다 더 우수한 공법임을 알 수 있다.

한편 파괴된 실험체의 마감 모르타르를 제거하고 보강면을 검토한 결과, 진공함침한 실험체는 최대 하중 시 중앙부분의 보강재만 절단되어 파괴되는 모습을 보였고, 일반적인 섬유시트를 부착한 실험체는 파괴 시에 보강재의 들뜸, 박락 등의 모습을 보였으나 파괴 시까지 콘크리트면에 부착되어 있었다. 이것은 진공 함침기에 의해 함침된 에폭시가 섬유보강재를 콘크리트면에 완벽히 부착시켰기 때문에 더 우수한 공법임을 알 수 있다.

#### 3.2 섬유보강재의 내구성에 대한 실험결과 분석

FRP 보강재의 내구성에 대한 명확한 평가기준은 지금

Table 8 Results of flexural tests

specimen name	yield load		maximum load		
	load (kN)	disp. (mm)	load (kN)	disp. (mm)	increasing rate of maximum load (%)
N	59.84	7.12	66.71	22.58	0
CF1	69.65	7.42	77.50	11.65	16
CF1-SH	63.77	5.8	71.61	7.41	7
CF2	81.42	5.80	87.90	8.52	32
CF2-SH	75.54	4.9	82.40	7.1	24

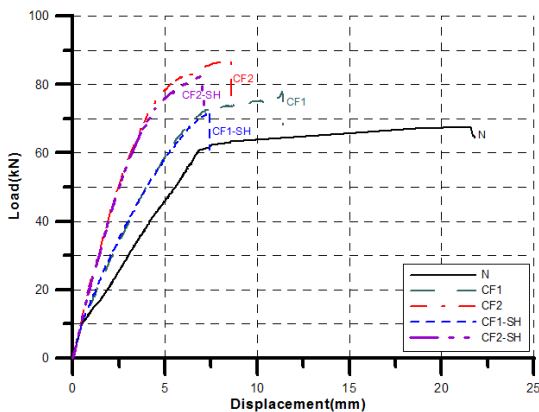


Fig. 7 Load-displacement curve of tested specimens

Table 9 Durability test results of with exposure environment

environment	control(%)	50days(%)	100days(%)
alkali	100	93	89
acid	100	95	92
chloride attack	100	96	93
sulphate	100	-	92
freeze-thaw repetition	100	-	95

까지 제시되고 있지 않다. 따라서 FRP 보강재가 상용화되어 있는 많은 국가에서는 각 국의 환경조건에 맞게 환경영향계수를 결정하여 설계에 적용하고 있다. 그러나 직접적으로 환경영향계수를 결정하기 위한 내구성의 기준은 아직도 제시되어 있지 않다. 다만 ACI 440 위원회의 규정과 실험결과를 기본으로 하여 Nanni and Micelli (2001)는 각종 촉진환경에서의 환경영향계수와 인장강도를 “(1) CFRP 보강재의 환경영향계수로 0.90을 사용하고, (2) 제안된 촉진열화환경에 노출시킨 FRP 보강재의 인장강도는 75% 이하로 감소해서는 안된다”고 제안하였다.

본 연구에서는 5가지 환경에 노출된 섬유보강봉의 내구성실험을 실시하여 위와 같은 평가기준으로 잔류 인장강도에 대한 평가를 실시하였다.

Table 9는 기준 실험체의 인장강도를 100%로 했을 때의 노출환경에 따른 내구성 실험결과를 보여주고 있으며 각 경우에 대한 실험결과는 다음과 같다.

### 3.2.1 알칼리 환경

섬유보강재가 콘크리트에 정착되었을 때의 알칼리에 대한 영향을 알아보기 위해 실험체를 pH 12.6의 60°C 알칼리 용액에 50일과 100일간 노출시킨 경우, 모든 실험체의 잔류 인장강도가 89% 이상의 높은 값을 보여줌을 알 수 있었다. 이는 섬유보강재가 알칼리에 대해 높은 저항성을 갖는 것을 나타내며 평가기준인 잔류 인장강도 75%를 상회하는 값을 의미하기 때문에 알칼리에 대해 안전하다고 판단할 수 있다.

### 3.2.2 산 환경

섬유보강재가 콘크리트에 정착되었을 때의 산에 대한 영향을 알아보기 위하여 실험체를 pH 2.92의 0.6% 아세트산용액에 50일 및 100일간 노출시킨 실험에서, 섬유보강봉의 잔류 인장강도가 50일, 100일간 노출 후에도 잔류 인장강도가 모두 92% 이상의 높은 값을 보여주었다.

이로부터 이 연구에 사용된 섬유보강재는 산에 대한 저항성이 높고 잔류 인장강도가 75% 이상이기 때문에 산에 대해 안전하고 저항성이 우수함을 나타낼 수 있다.

### 3.2.3 염해 환경

섬유보강재가 콘크리트에 정착되었을 때의 산에 대한 영향을 알아보기 위하여 3% NaCl 용액에 섬유보강봉을 침지하고 온도를 60°C로 하여 촉진실험을 실시한 실험체가 50일, 100일간 침지 후에도 잔류 인장강도가 모두 93% 이상의 높은 값을 보였으므로 섬유보강재가 염해에 대한 저항성이 높고 잔류 인장강도가 75% 이상이기 때문에 염해에 대해 안전하고 우수한 저항성을 가짐을 알 수 있다.

### 3.2.4 황산염 침지

섬유보강재가 하수관거와 같은 콘크리트 구조물에 정착되었을 때의 영향을 알아보기 위하여 100일간 황산염에 노출시킨 실험체는 노출 후에도 잔류 인장강도가 92%의 높은 값을 보여주었다. 이로부터 섬유보강재가 황산염에 대한 저항성이 높고 잔류 인장강도가 75% 이상이기 때문에 황산염에 대해 안전하고 저항성이 우수함을 알 수 있다.

### 3.2.5 동결-융해 반복

섬유보강재를 동결-융해의 반복 환경에 노출시켰을 때, 실험체는 잔류 인장강도가 95%의 높은 값을 보여주었다. 이로부터 섬유보강재의 동결융해에 대한 저항성이 매우 높고 잔류 인장강도가 75% 이상이기 때문에 동결융해에 대해 안전하고 저항성이 우수함을 확인하였다.

## 4. 결론

철근콘크리트 구조물은 시간의 흐름과 환경의 변화에 의하여 노후화 및 부실화가 진행되어 구조물의 내하력과 사용성이 저하되면서, 결국에는 수명단축은 물론, 내구력 및 안전성이 저하된다.

따라서 본 연구에서는 성능저하로 안전성이 떨어진 구조물의 내하력을 증진시키고, 기존 공법보다 내구성을 향상시켜서 콘크리트 구조물의 수명을 최대화하는 보강공법을 개발하고자 하였다. 이를 위해서 보강재 양을 쉽게 조절할 수 있고 기존 콘크리트 구조물과 보강재를 일체화 시킴으로서 하중재하 시에 보강재와 기존 콘크리트가 같이 거동할 수 있는 보강공법을 개발하였다. 개발된 공법

의 성능평가를 위하여 개발된 공법을 이용하여 실험체를 제작하고 휨 실험 및 내구성 실험을 수행하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

#### 참고문헌

- (1) 휨 실험의 경우는, 진공함침으로 2겹 보강한 실험체가 가장 높은 최대 하중을 보였고, 그 다음 섬유시트 2겹 보강, 진공함침으로 1겹 보강, 섬유시트 1겹 보강, 무보강 순의 하중 값을 보여주었다. 특히, 진공함침으로 섬유보강재를 2겹 보강하였을 때 보강하지 않았을 때보다 약 32%의 하중이 증가하고, 1겹 보강하였을 때는 보강하지 않았을 때보다 약 16%의 하중이 증가함을 알 수 있었다. 또한 진공함침으로 보강한 경우가 일반시트로 보강했을 때 보다 파괴직전 연성적인 거동을 보여 줌으로서 안전성측면에서도 더 우수함을 알 수 있었다.
- (2) 섬유보강재가 열악한 환경에 노출되었을 때의 내구성을 평가하기 위해 알칼리, 산, 염해, 황산염, 동결융해 반복의 5가지 환경에 섬유보강봉을 노출시켜서 인장강도 실험을 실시한 결과, 모든 환경에 대한 잔류 인장강도가 75% 이상을 상회하였다. 이는 본 연구에 사용된 섬유보강재가 열악한 환경에 대해 저항성이 우수하기 때문으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문의 완성에 도움을 주신 (주)케어콘의 사장님 이하 관련 직원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

1. 양인환, 조창빈, 강수태, 김병석, “강섬유로 보강된 초고성능 콘크리트의 휨 거동에 대한 실험 연구”, 콘크리트학회 논문집, 제21권 6호, 2009, pp.737-744.
2. 오병환, 조재열, 강동욱, “강판 휨보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동”, 콘크리트학회 논문집, 제9권 5호, 1997, pp.233-244.
3. 오홍섭, 심종성, 이차돈, 최완철, 홍기섭, 신영수, “단면증설된 R/C보의 보수·보강 효과 연구”, 한국콘크리트학회 1996년도 가을 학술발표회 논문집, 제8권 2호, 1996, pp.416-424.
4. 오홍섭, 심종성, 주민관, 이기홍, “CFRP 플레이트 적용 스티립 부분절단형 표면매립공법으로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 거동에 대한 실험적 평가”, 콘크리트학회 논문집, 제20권 6호, 2008, pp.671-679.
5. 장준환, 김성도, 조백순, 정진환, “유리섬유-강판 복합재료(GSP)로 보강된 RC 보의 전단거동에 관한 실험적 연구”, 한국구조물진단학회 논문집, 제11권 1호, 2007, pp.130-140.
6. 한만엽, 신재우, 강태현, 진경석, 강상훈, “외부강선을 이용한 연속교 보강공법의 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 2006년도 가을 학술발표회 논문집, 제18권 2호, 2006, pp.117-120.
7. 황진석, “탄소섬유시트 보강 보의 실험 및 해석적 연구”, 한국구조물진단학회 논문집, 제2권 4호, 1998, pp.177-185.
8. 황현복, 이정윤, “FRP로 보강된 철근콘크리트 보의 유효 변형률 예측에 대한 실험적 연구”, 콘크리트학회 논문집, 제19권 2호, 2007, pp.145-151.
9. Nanni, A., Micelli, F., “Mechanical properties and durability of FRP rods”, CIES 00-22, Department of Civil Engineering, University of Missouri-Rolla, U.S.A., 2001.

(접수일자 : 2012년 4월 12일)

(수정일자 : 2012년 5월 16일)

(심사완료일자 : 2012년 5월 21일)

#### 요 지

철근콘크리트 구조물은 시간의 흐름과 환경의 변화에 의하여 노후화 및 부실화가 진행된다. 따라서 강도와 사용성이 저하되고, 결국에는 구조물 수명의 단축은 물론, 안전성도 줄어든다. 따라서 본 연구에서는 성능저하로 안전성이 떨어진 구조물의 내하력을 증진시키고, 기존 공법보다 내구성을 향상시켜서 구조물의 수명을 증가시키는 보강공법을 개발하고자 하였다. 이를 위해 보강재 양을 쉽게 조절할 수 있고 기존 콘크리트 구조물과 보강재를 일체화시킴으로서 하중재하 시에 보강재와 기존 콘크리트가 같이 거동할 수 있도록 진공함침을 이용하는 보강공법을 개발하였다. 휨 실험의 경우, 진공함침으로 2겹에 해당하는 보강, 섬유시트 2겹 보강, 진공함침으로 1겹 에 해당하는 보강, 섬유시트 1겹 보강, 무보강한 실험체의 순으로 최대강도를 보였다. 또한, 섬유보강재가 열악한 환경에 노출되었을 때의 내구성에 대한 확인결과, 모든 환경에 대한 잔류 인장강도가 90% 이상을 상회하였다. 이는 본 연구에 사용된 섬유보강재가 열악한 환경에 대해 저항성이 우수하기 때문으로 판단된다.

**핵심 용어** : 진공함침, 보강공법, 탄소섬유, 철근콘크리트 부재