

탄소섬유그리드를 이용한 RC보의 보강효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strengthening Effect of RC Beam with Carbon Fiber Grid

심 낙 훈*

Shim, Nak-Hoon

김 정 재**

Kim, Jeong-Jae

박 영 석***

Park, Young-Suk

Abstract

The purpose of this study is to investigate the strengthening effect of RC beams with carbon fiber grid. Carbon fiber grid that is very lightweight and stronger than steel reinforcement does not rust or corrode and has a very high resistance to salt. In this study, five real size specimens which are strengthened with different types of carbon fiber grid are tested. With the results of this tests, we found the physical and mechanical properties of carbon fiber grid and polymer mortar which are used to strengthen the damaged or cracked reinforcement concrete beams. we also investigate the strengthening effect of carbon fiber grid on the five flexural test specimens that have cracks.

keywords : Carbon Fiber Grid, RC Beams, Polymer Mortar, Strengthening Effect

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

철근 콘크리트 구조물은 시공 후 시간이 경과함에 따라 재료적, 환경적, 구조적 요인에 의해 구조물의 성능이 저하된다. 따라서, 이를 방지하기 위해서는 꾸준한 유지관리를 통해 구조물의 강성을 유지함으로써 공용 기간 동안의 안전성을 확보해야 한다.

하지만, 이미 발생한 기존 철근콘크리트 구조물의 손상으로 인하여 내하력이 부족한 구조물들은 사회적, 경제적 여건 등을 고려한다면 보수·보강하여 사용성을 증가시키는 것이 바람직할 것이다. 그래서, 최근에는 철근 콘크리트 구조물의 새로운 보수·보강방법이 큰 관심사로 대두되어 왔다. 기존에 많이 사용하던 강판을 이용한 보강방법은 자중이 크고 부식의 우려가 있으며, 보강 이후의 손상 징후가 강판에 가려 육안으로 확인되지 않으므로 손상상태를 파악할 수 없다.

* 명지대학교 토목공학과 박사수료, 공학석사

** (주)도우엔지니어즈 상무이사, 공학석사

*** 명지대학교 토목·환경공학과 교수, 공학박사

E-mail : nhshim@mju.ac.kr 031-336-8892

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2003년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

특히, 이러한 강판 보강부는 강판 내부 콘크리트의 접착이 완벽하지 못한 경우에는 정상적인 보강효과를 기대하기 어렵다. 이 방법 외에도 아라미드섬유, 유리섬유, 탄소섬유로 만든 쉬트를 이용한 보수·보강 방법이 사용되고 있는데, 이들 방법 역시 아라미드 섬유인 경우에는 흡수성이 높기 때문에 강도저하가 발생할 수 있고, 유리섬유인 경우에는 알칼리에 약하다는 점 등의 대표적인 단점 뿐만 아니라 쉬트 재료이기 때문에 내부 누수 시 탈락현상이 발생할 수 있다.

그리고, 하자 발생 시에는 전면 재시공이 불가피하며 보수·보강 후 구조물의 열화 진행 시 외부에서 관찰이 불가능한 점 등의 여러 가지 문제점을 지니고 있다. 또한, 시공성을 살펴보면 쉬트 재료는 시공이 복잡하고 정밀을 요하며, 시공부주의에 따른 하자 발생요인이 크다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 보수·보강 재료인 탄소섬유그리드와 무수축 폴리머 모르터를 사용한 보수·보강방법에 대해서 그 효과를 실험적 연구를 통해서 파악하였다.

2. 사용재료의 특성

2.1 탄소섬유그리드

탄소섬유그리드는 기존 구조물과 일체화가 가능하여 강한 내구성을 발휘할 수 있으며, 내부식성, 내화학성, 절연성을 지니고 있어 보강 후 외부로부터의 유해한 영향을 거의 받지 않고, 경량 재료로서 다른 보강재에 비해 구조물에 사하중으로 미치는 영향이 작다.

그리고, 기존 보강공법(보강재 접착공법, 단면증대공법, 부재증설공법 등)과 비교하여 부착성이 우수하고, 쉬트 재료와는 달리 누수발생 시 탈락현상이 발생하지 않는다. 또 다른 특이할 만한 점은 보수·보강구조물에 손상이 추가로 발생할 경우 외부에 타설되는 콘크리트에 의해 새로운 균열의 발생과 진전여부를 파악할 수 있으므로, 손상된 보의 유지관리와 안전성 확보에 도움을 줄 수 있다는 것이다.

본 연구에서 사용한 탄소섬유그리드는 일반적으로 많이 쓰이고 있는 C6과 C8 제품을 사용하였으며, 탄소섬유그리드의 전체적 형상과 격자 교차부의 형상을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

탄소섬유그리드의 격자교차부는 Fig. 2에 나타난 것처럼 섬유가 서로 교차하여 적층되어있기 때문에 수지의 교차강도와 섬유끼리의 구속효과에 의해서 충분한 강도를 발휘할 수 있다.

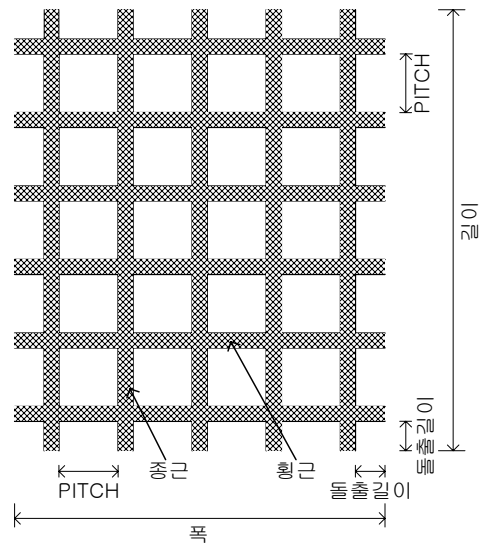


Fig. 1 탄소섬유그리드의 형상

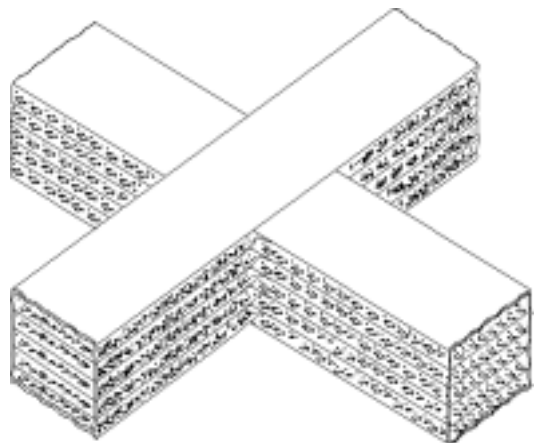


Fig. 2 탄소섬유그리드 격자 교차부 형상

사용재료에 대한 기본적인 물성치(1)는 Table 1에 나타내었으며, Fig. 3은 탄소섬유(C)와 비교한 각종 재료의 응력-변형률관계를 나타낸 것이다. 강도만을 비교해 볼 때, 탄소섬유는 유리섬유(G)나 아라미드섬유(A)에 비해 약 1.5배 정도의 큰 강도를 나타낸다. 또한, 탄소섬유는 다른 2종류의 섬유에 비해 약 2~3배 정도의 높은 탄성계수를 가지므로 그 만큼 견고하다고 할 수 있다. 따라서, 탄소섬유를 사용할 경우 부재의 강성이 커지므로 변형에 저항하는 능력이 커진다. 유리섬유와 아라미드섬유는 강도와 강성에 있어서 큰 차이는 없으나, 인성이 비교적 큰 특징을 가지고 있다. 인성이 크다는 것은 하중을 받아 끊어질 때까지 변형이 크게 발생한다는 것을 의미하므로, 아라미드섬유와 유리섬유의 경우 콘크리트와 같이 취성이 크고 인성이 작은 재료와 함께 사용할 경우 역학적 거동이 현저히 다르기 때문에, 보수 및 보강재로 선택할 경우에는 주의가 필요하며 특히, 유리섬유는 콘크리트 내에 있는 알칼리성분에 의해서 약해지는 단점도 있다.

Table 1 탄소섬유그리드의 물성치

섬유근번호	단면적 (cm ²)	비중	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
C6	0.175	1.42	12000	1.00×10 ⁶
C8	0.264			

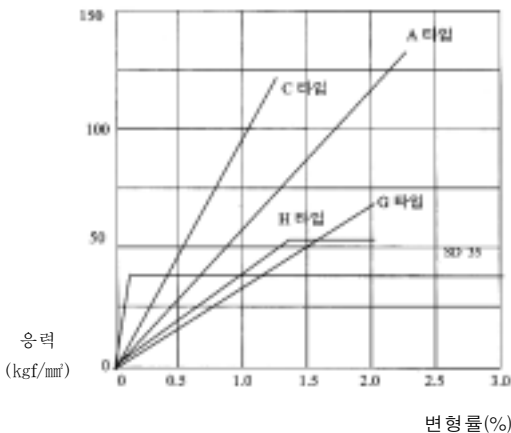


Fig. 3 각종 섬유별 응력-변형률 관계

2.2 폴리머 모르터

복합재를 보수·보강 재료로 사용하려면 복합재 섬유만큼이나 중요한 것이 바로 구 콘크리트와 복합재 사이의 부착 문제이다. 본 연구에서 덮개 콘크리트로 사용되는 모르터는 탄소섬유그리드의 부착문제와 직접적인 관련이 있는 만큼 기존 콘크리트와 잘 부착되어야 하며, 기존 콘크리트보다 더 큰 강도를 가져야 한다. 또한, 사용되는 보강재에 충분한 피복효과를 제공하여 구조부재 내에서 보강재가 기존의 콘크리트 부재와 일체가 되어 거동할 수 있도록 해야 한다. 본 연구에서 사용한 폴리머 모르터인 네프크리트는 무기질계 원료를 주재료로 사용하고 결합제로 합성 고분자 폴리머를 사용한 내구성과 화학적 안정성이 우수한 건조 모르터이다. 또한, 비름두께가 5~40mm 이하로써 면적이 넓은 콘크리트면의 보수나 부분적으로 파손된 콘크리트 보수에 탁월한 효과를 발휘하며, 그 이상의 두께로 바를 경우에는 1차로 바를 후 약 2시간이 경과한 후에 2차로 바를 수 있기 때문에 기존의 모르터에 비해 공사기간을 단축시킬 수 있는 장점을 가진 무수축 모르터이다.

3. 폴리머 모르터의 전단 및 부착강도 시험

3.1 시편 제작 및 양생

탄소섬유그리드의 강도 발현에 있어 무엇보다 중요한 모르터의 전단강도와 부착강도의 측정을 위해 Fig. 4 및 Fig. 5와 같이 2가지 형태의 시편을 제작하였다.

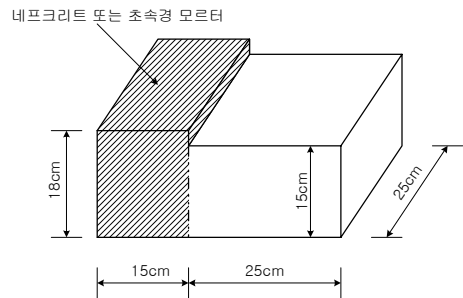


Fig. 4 L형 시편

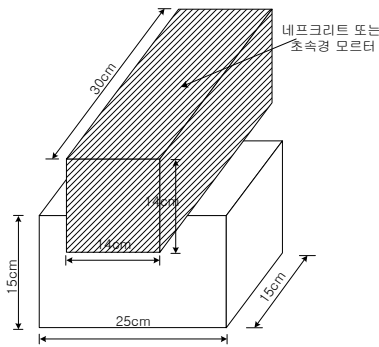


Fig. 5 +형 시편

먼저, 기존 콘크리트면에 접착증강제인 리포텍스를 바르고, 미리 제작한 거푸집에 모르터를 주입하여 시편을 제작하였다. 전단강도시험을 위한 L형 시편과 부착강도시험을 위한 +형 시편의 2종류를 각각 2개씩 제작하였다. 재료는 폴리머 모르타인 네프크리트와 초속경 무수축 모르터를 각각 사용하였다.

3.2 시험 방법

시험을 위하여 시편을 고정시킬 수 있는 별도의 지그를 제작하여 Photo 1과 같이 설치하여 L형 시편의 전단강도시험을 수행하였으며, 하중 재하는 50tonf 용량의 램을 이용하였다. Photo 2는 +형 시편의 부착강도 측정 장면을 나타낸 것이다.

3.3 시험 결과

총 4개 시편의 강도측정 결과를 Table 2에 나타내었으며, Photo 3은 부착강도시험 결과의 일례를 나타낸 것이다. 파괴단면을 살펴보면 신·구콘크리트 접착

Table 2 강도 측정 결과

공시체 Type	부착단면적 (cm ²)	전단강도(kgf)		부착강도(kgf)	
		#1 (네프크리트)	#2 (초속경 모르터)	#1 (네프크리트)	#2 (초속경 모르터)
L형	225cm ² (15cm×15cm)	2972	2025	-	-
+형	210cm ² (15cm×14cm)	-	-	828	1179

면이 단순하게 분리된 것이 아니라 충분히 접착되어 기존 콘크리트면에서 파괴되었음을 알 수 있다.



Photo 1 L형 시편의 전단강도시험



Photo 2 +형 시편의 부착강도시험



Photo 3 +형 시편의 파괴단면

3.4 시험결과 분석

L형 시편의 전단강도는 네프크리트를 사용한 경우 2.97ton이고, 초속경 모르터를 사용한 경우에는 2.03ton로 나타났다. 이 값들은 철근콘크리트 구조설계 매뉴얼(2)에 의한 콘크리트의 전단강도 ($V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d$)식으로 계산된 1.8ton보다 큰 값을 나타냈다. 따라서, 본 연구에서 사용한 모르터들은 모두 신·구콘크리트의 부착에 필요한 강도를 발휘하고 있는 것으로 나타났다. 그리고, 전단강도 및 부착강도 시편의 파괴면을 검토한 결과 네프크리트를 사용한 경우에는 전단면이 고르게 부착되지 않은 시편도 있었지만, 전단면이 고르게 부착된 경우에는 상당히 높은 강도를 나타냈다. 그리고, 초속경 모르터를 사용한 경우에는 유동성이 우수한 모르터를 주입식으로 시공했기 때문에 전단면이 고르게 부착되었음을 알 수 있었으며, 이것 역시 필요 강도보다 높은 강도를 나타냈다.

4. 건전 RC보의 항복강도시험

4.1 개요

실제 RC보 구조물에 손상이 발생하여 탄소섬유그리드를 이용하여 보강하는 경우, 그 효과를 파악하기 위하여 실물모형의 건전 RC보를 제작하여 휨시험을 먼저 실시하였다. 건전 RC보의 휨시험을 통하여 얻은

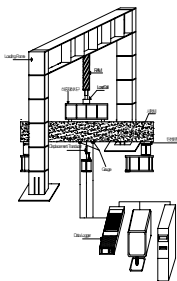


Fig. 6 측정시스템 배치도

하중-변위 선도에서 항복하중을 판별하였고, 하중-변형률 선도에서도 하나의 철근이라도 항복되면 시험을 중단하고 그때의 강도를 항복강도로 정의하였다.

4.2 시험체 제작 및 측정방법

본 시험에서는 탄소섬유그리드의 보강형태를 다르게 하여 그 보강효과를 비교·분석하기 위하여 폭 40cm, 높이 50cm, 길이 560cm의 RC보 총 5개를 제작하였다. 우선, 손상된 구조물을 가정하기 위하여 지간 5m로 하여 항복강도시험을 실시하였다. 하중재하 시 각 단계별로 균열폭과 균열형상을 확인하였으며, 시험체 내부의 철근에 부착한 변형률 게이지와 콘크리트 표면에 부착한 변형률 게이지를 이용하여 각 위치에서의 변형률을 측정하였다. 또한, 보 하부에 변위계를 설치하여 하중 단계별 처짐량을 측정하였다. 하중재하 장비로는 Fig. 6과 같이 하중프레임에 최대용량 200ton의 램과 로드셀을 설치하고, 별도의 지그를 이용하여 보의 중앙에서 좌우로 60cm 떨어진 위치에 하중을 재하하였다. 하중재하 속도는 초(sec)당 300kg 정도로 일정하게 재하하였다. Table 3은 RC보 시험체의 사용재료에 대한 특성치를 나타낸 것이고, Fig. 7은 시험체의 단면도를 나타낸 것이다.

Table 3 RC보 시험체의 사용재료

호칭	단위중량 (kg/m)	공칭지름 (mm)	공칭단면적 (cm ²)	비고	
철근	D29	5.04	28.6	6.424	인장축-5개
	D13	0.995	12.7	1.267	압축축-5개 스티럽(폐합형)
콘크리트	설계 기준 강도 $f_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$				

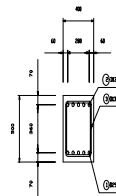


Fig. 7 RC보의 단면도

4.3 시험결과 및 분석

항복하중 작용 시 각 시험체의 항복하중과 그때의 변위측정 결과를 Table 4에 나타내었고, Photo 4는 항복강도시험을 완료한 시험체를 일례로 나타낸 것이다. 시험체의 구분은 RC보의 항복강도시험 후 보강하게 될 탄소섬유그리드의 근변과 보강형태를 구분하여 사용하였는데, 시험체명의 근변 뒤에 영문으로 표기한 A, B가 보강방법을 나타낸 것이다. A형은 평면(-)모양의 보강재를 사용하여 RC보의 하면만을 보강한 것이고, B형은 앵글모양(∟)의 보강재를 사용하여 하면과 측면을 모두 보강한 것이다. 그리고, DT1과 DT2는 모두 지간중앙에 설치한 변위계이다.

각 시험체에서 모든 인장철근이 동시에 항복된 것이 아니고 일부만 항복되었는데, 이것은 하중 재하 시의 도하지 않은 약간의 편심이 작용하여 편재화되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 모든 시험체가 40ton 이상의 하중에서 항복되었으며, 이는 구조계산에 의한 항복하중인 35.98ton보다 더 큰 값이다. 이 때의 인

장철근 변형률은 약 $2000 \mu \epsilon$ 으로 철근의 항복강도 ($\sigma_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$)보다 크게 나타났다. 각 시험체의 항복하중은 하중-변위 선도를 통하여 파악하였고, 인장철근의 항복여부는 인장철근의 하중-변형률 선도를 통하여 파악하였다. 그 결과를 Fig. 8~Fig. 12에 나타내었다. Fig. 8에서 C6A 시험체가 하중 40.29ton에서 항복하였음을 알 수 있고, Fig. 9에서는 게이지 ST2와 ST4의 철근이 40.29ton에서 항복하였음을 알 수 있다.

Table 4 항복강도시험 결과

측정치	Gage No.	시험체명				
		C6A	C6B	C8A	C8B	C68
변위 (mm)	DT1	20.42	22.60	21.81	21.78	-
	DT2	20.48	22.41	21.72	21.98	-
항복하중(ton)		40.29	42.69	43.14	41.66	48.64



Photo 4 항복강도시험 완료(C6B시험체)

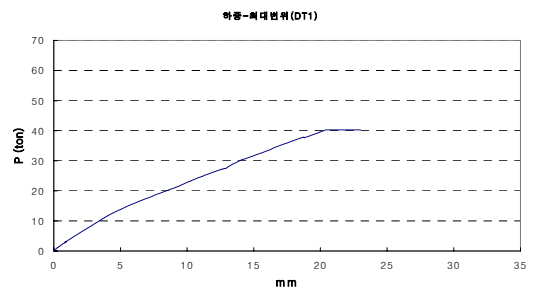


Fig. 8 하중-변위 선도(C6A)

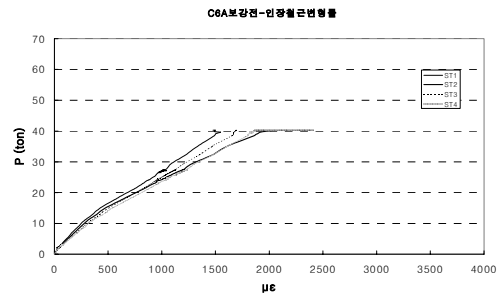


Fig. 9 인장철근의 하중-변형률 선도(C6A)

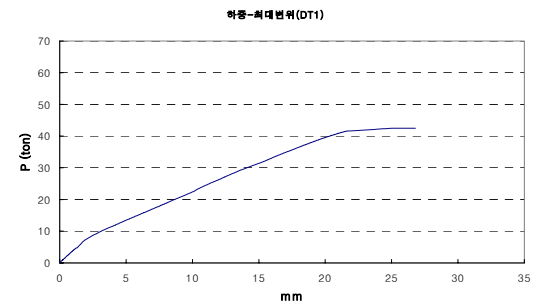


Fig. 10 하중-변위 선도(C8B)

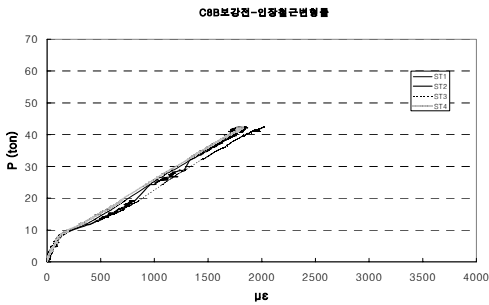


Fig. 11 인장철근의 하중-변형률선도(C8B)

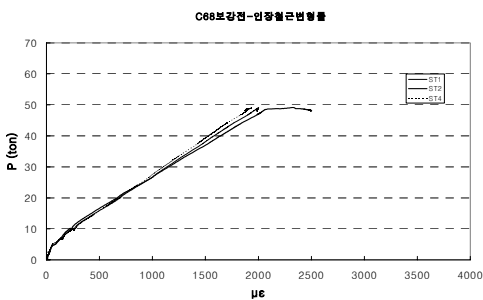


Fig. 12 인장철근의 하중-변형률 선도(C68)

이때의 변형률은 약 $2000 \mu\epsilon$ 정도를 나타내고 있다. 그리고, Fig. 11에 나타난 하중-변형률 선도에서는 C8B 시험체의 인장철근 항복점을 볼 수 없지만, Fig. 10에 나타난 하중-변위 선도를 보면 항복점을 찾을 수 있다. 이 때의 항복하중은 41.66ton이며, 철근의 변형률은 약 $1800 \mu\epsilon$ 정도로서 다른 시험체와 비교해 볼 때 변형률이 작기는 하나, 거의 항복하중에 가까워졌음을 알 수 있다. Fig. 12는 C68 시험체의 항복강도시험 결과를 나타낸 것인데, 이 시험체는 전단철근의 항복을 유도하기 위하여 하중 재하점의 위치를 양쪽 지점부로 가깝게 (보의 중앙에서 재하점간 1.8m지점)하여 시험을 실시하였으나, 시험실 여건상 하중 재하점의 위치를 더 이상 넓게 조정하는 것은 무리가 있어 전단철근을 항복시킬 수는 없었다. 따라서, 인장철근의 항복하중이 48.64ton로 다른 시험체에 비해 크게 증가하였으며, 이때 인장철근의 변형률은 약 $2000 \mu\epsilon$ 정도를 나타낸다.

5. 탄소섬유그리드 보강 RC보의 파괴 강도시험


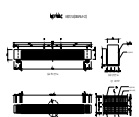
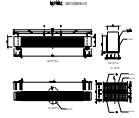
5.1 개요

항복된 RC보 시험체에 탄소섬유그리드를 사용하여 각 시험체별로 보강을 실시하였다. 이때, 보강용 탄소섬유그리드는 근번 C6과 C8의 두가지 종류를 사용하였고, 탄소섬유그리드의 부착을 위한 덮개용 모르터로는 폴리머 모르타인 네프크리트와 초속경 모르터를 모두 사용하여 그 적용성을 살펴보았다. 이렇게 보강한 시험체를 다시 휨시험을 실시하여 보강 RC보의 하중-변위 선도 및 하중-변형률 선도를 작성하였다. 여기서, 시험체의 철근이 모두 항복된 후에도 탄소섬유는 그 재료 자체의 파괴강도에 도달할 때까지 보강효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단하여 탄소섬유가 파단될 때까지 하중을 증가시키면서 시험을 계속하였다. 이러한 RC보의 보강 전·후 항복강도를 비교하여 탄소섬유그리드를 사용했을 때의 보강효과를 파악하였고, 시험체 내부의 철근이 완전히 항복된 후에도 탄소섬유가 계속 효과를 발휘하는지 여부는 보강 후 시험체의 하중-변위 선도에서 항복강도 이후의 그래프 기울기 및 최대하중을 통하여 파악하였다.

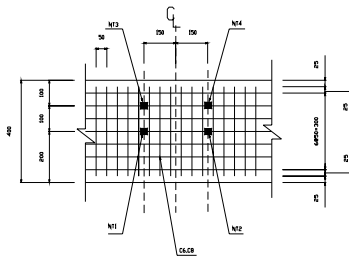
5.2 보강 시험체 제작

항복된 RC보에 탄소섬유그리드를 Table 5와 같이 여러 가지 형태로 제작하여 각 시험체마다 보강방법을 다르게 하여 보강하였다. 보강방법으로는 먼저, 탄소섬유그리드를 기존 시험체에 앵커볼트를 사용하여 밀착시킨 다음 덮개 모르터로 마무리하였다. 이 때 무엇보다 중요한 것이 신·구 콘크리트의 부착이므로 덮개 모르터의 부착강도가 제대로 발휘되어야 한다. 그리고, 본 시험에서 사용한 덮개 모르터 중 하나는 재령 28일 압축강도가 $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ 정도인 폴리머 모르터를 사용하였고, 다른 하나는 재령 28일 압축강도가 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상되는 초속경 무수축 모르터를 사용하여 보강하였다.

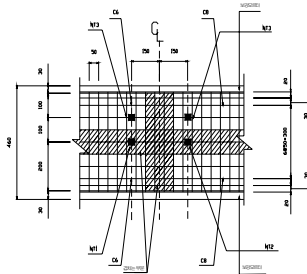
Table 5 시험체의 보강형태

시험체명	보강형태	얇개모르터 사용재료	보강시험체 단면도
C6A	C6 타입의 -형 탄소섬유그리드를 RC보의 하면에만 일체로 보강하는 경우	초속경 무수축 모르터	
C8A	C8 타입의 -형 탄소섬유그리드를 RC보의 하면에만 일체로 보강하는 경우	초속경 무수축 모르터	
C6B	C6 타입의 L형 탄소섬유그리드를 사용하여 RC보의 하면과 측면을 동시에 보강하는 경우	네프 크리트	
C8B	C8 타입의 L형 탄소섬유그리드를 사용하여 RC보의 하면과 측면을 동시에 보강하는 경우	네프 크리트	
C68	보의 종방향의 중앙을 중심으로 한쪽은 C6 타입의 L형 탄소섬유그리드를 사용하고, 다른 한쪽은 C8 타입의 L형 탄소섬유그리드를 사용하여 서로 겹쳐서 보강하는 경우	네프 크리트	

5.3 게이지 부착 위치

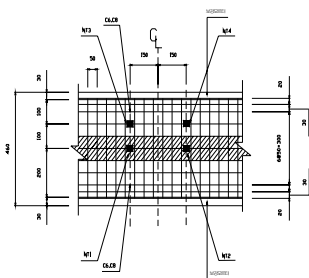


(a) 보강 RC보 NEFMAC 게이지 부착 위치도(C6A, C8A)



(c) 보강 RC보 NEFMAC 게이지 부착 위치도(C68)

Fig. 13 보강 RC보 NEFMAC 게이지 부착 위치도



(b) 보강 RC보 NEFMAC 게이지 부착 위치도(C6B, C8B)

5.4 보강 시험체 구조계산

탄소섬유그리드 보강시험체의 이론적인 보강효과를 다음과 같이 간단하게 계산해 보았다. 여기서, 계산에 사용된 변수로는 탄소섬유의 종류, 그리드의 간격 및 단면적이며, 탄소섬유그리드와 기존 콘크리트가 완전히 일체로 부착된 것으로 가정하였다. 그리고, 계산방법은 일반 보이론을 적용하였다.

(1) C6-50P-7EA를 사용한 하면보강의 경우

$$b = 40\text{cm}, d = 50\text{cm}, d' = 5\text{cm}$$

$$\sigma_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2 \quad \sigma_f = 12000\text{kgf/cm}^2$$

$$A_f = 0.175 \times 7 = 1.225\text{cm}^2$$

$$a = \frac{A_f \cdot \sigma_f}{0.85 \sigma_{ck} \cdot b} = \frac{1.225 \times 12000}{0.85 \times 240 \times 40} = 1.80\text{cm}$$

$$M_n = A_f \cdot \sigma_f \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.225 \times 12000 \times \left(50 - \frac{1.8}{2} \right) = 7.22\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$\text{강도증가} = \frac{7.22}{35.745} \times 100(\%) \approx 20\%$$

(2) C8-50P-7EA를 사용한 하면보강의 경우

$$b = 40\text{cm}, d = 50\text{cm}, d' = 5\text{cm}$$

$$\sigma_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2 \quad \sigma_f = 12000\text{kgf/cm}^2$$

$$A_f = 0.264 \times 7 = 1.848\text{cm}^2$$

$$a = \frac{A_f \cdot \sigma_f}{0.85 \sigma_{ck} \cdot b} = \frac{1.848 \times 12000}{0.85 \times 240 \times 40} = 2.72\text{cm}$$

$$M_n = A_f \cdot \sigma_f \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1.848 \times 12000 \times \left(50 - \frac{2.72}{2} \right) = 10.79\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$\text{강도증가} = \frac{10.79}{35.745} \times 100(\%) \approx 30\%$$

5.5 시험결과

(1) C6A 시험체

C6A 시험체의 파괴강도시험 결과를 Fig. 14와 같이 하중-변위 선도로 나타내었다. 이 시험체의 항복하중은 44.45ton(보강전 : 40.29 ton) 이고 파괴하중은 49.18ton이다. Fig. 14에서 보의 항복이후에도 그래프의 기울기로 보아 계속 하중을 받고 있음을 알 수 있는데, 이것은 탄소섬유그리드의 보강효과로 판단된다. 또한, Fig. 15에서도 그래프의 기울기로 보아 탄소섬유그리드가 항복할 때까지 계속 강도를 발휘하고 있음을 알 수 있다. 보강효과는 약 10%정도로서 구조계산에 의한 값 20%보다 다소 작게 나타났다.

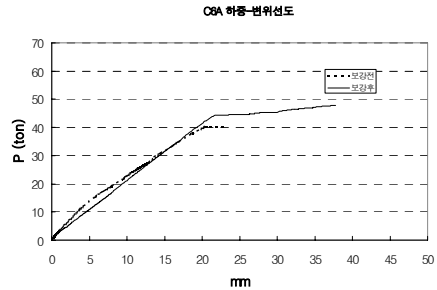


Fig. 14 하중-변위 선도(C6A)

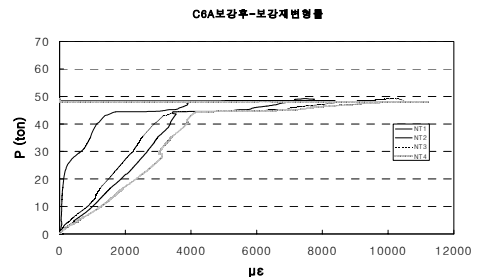


Fig. 15 탄소섬유그리드의 하중-변형률선도(C6A)

(2) C6B 시험체

이 시험체의 시험결과를 Fig. 16과 Fig. 17에 나타내었다. 이때의 항복하중은 48.13ton(보강전:42.69ton)이고 파괴하중은 60.45ton이다. 그리고, Fig. 17에서 철근항복 이후에도 탄소섬유그리드가 부담하는 하중이 점차 증가하고 있다.

탄소섬유그리드의 인장강도가 12000 kgf/cm²인 점을 고려하면 휨에 대한 보강효과가 기대치에 미치지 못하는데, 이것은 탄소섬유그리드가 제 강도를 발휘할 수 있을 만큼 덮개 콘크리트의 두께가 충분하지 못하였거나, 또는 시공결함으로 인하여 신·구 콘크리트가 완전히 부착되지 않아 탄소섬유그리드가 기존 콘크리트와 일체로 거동하지 못하고 활동이 생겼기 때문인 것으로 판단된다.

이 시험체의 항복하중만을 고려하여 보강효과를 비교해 보면 약 13%의 보강효과를 나타내며, 이 보강시험체도 그 보강효과가 구조계산에 의한 보강효과보다 다소 작게 나타났다.

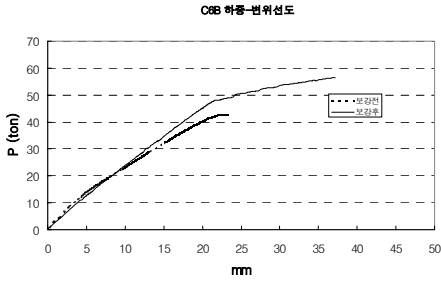


Fig. 16 하중-변위 선도(C6B)

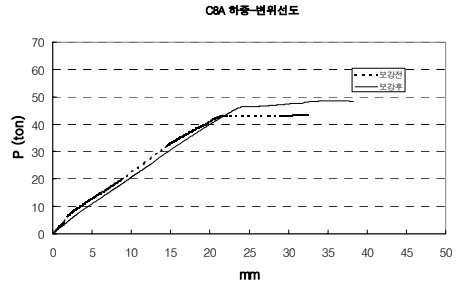


Fig. 18 하중-변위 선도(C8A)

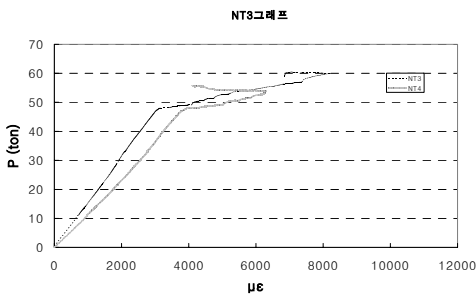


Fig. 17 탄소섬유그리드의 하중-변형률 선도(C6B)

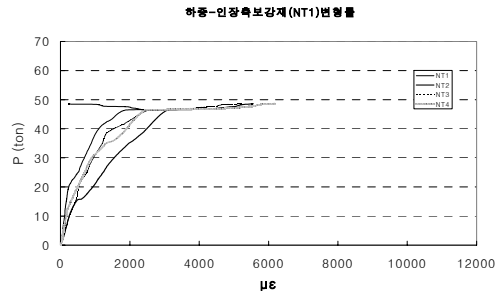


Fig. 19 탄소섬유그리드의 하중-변형률선도(C8A)

(3) C8A 시험체

C6보다 단면적이 큰 C8을 사용하여 보강한 이 시험체는 Fig. 18과 같이 보강 전 항복하중이 43.14ton이고 보강 후 항복하중이 46.50ton로서 약 8%의 보강효과를 보이고 있다. C8을 사용하여 보강했음에도 불구하고 그 효과가 C6를 사용한 것보다 작게 나타나는 것은 앞서서도 언급했던 시공결함에 의해 신·구 콘크리트의 부착면에 활동이 일어났기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 이것은 Fig. 19에 나타난 탄소섬유그리드의 하중-변형률 선도에서도 알 수 있다.

4) C8B 시험체

시험결과를 나타낸 Fig. 20의 그래프를 보면 46.94 ton(보강전:41.66ton)에서 항복했으나, 모든 인장철근이 항복된 50ton 이상에서도 하중을 계속 받고 있다. 따라서, 50ton 이상의 하중에 대해서는 탄소섬유그리드의 보강효과로 판단된다. 이 시험체의 파괴하중은 약 54.66ton 이고, 강도는 약 13%정도 증가되었다. 그리고, Fig. 21에서 게이지 NT3의 그래프를 보

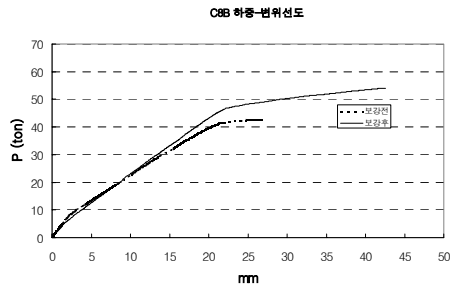


Fig. 20 하중-변위 선도(C8B)

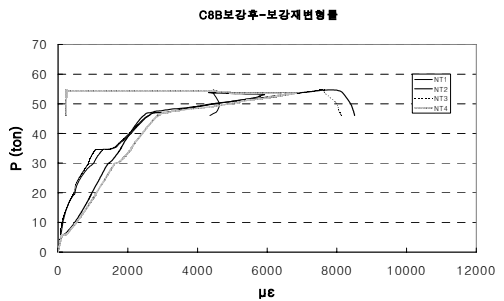


Fig. 21 탄소섬유그리드의 하중-변형률선도(C8B)

면 탄소섬유그리드가 인장강도의 80%정도 발휘하고 있음을 알 수 있으며, 게이시 NT4의 경우에는 탄소섬유그리드가 변형률 7500 $\mu\epsilon$ 정도에서 파괴되었거나 또는 NT4를 구속하고 있는 덮개 콘크리트가 파괴되어 인장강도를 발휘하지 못하는 두가지 측면으로 추측할 수 있다. 7500 $\mu\epsilon$ 은 약 7500kgf/cm²의 응력값으로서 탄소섬유그리드 자체의 인장강도에 훨씬 못 미치는 값이다. 따라서, 탄소섬유그리드가 파괴되기보다는 후자에 가까운 탄소섬유그리드를 둘러싸고 있는 신·구 콘크리트 접착면이 활동을 일으킨 것으로 판단된다.

(5) C68 시험체

하중 재하점의 위치를 다른 시험체에 비해 지점부 쪽으로 가깝게 하여 시험한 C68 시험체는 Fig. 22와 같이 항복하중이 58.94ton(보강전:48.64ton)이고 파괴하중은 63.94ton이며, 약 21%정도의 보강효과를 보였다. Fig. 23에서 보강재 NT3를 제외한 나머지 3개는 제 인장강도를 발휘하지 못했는데, 이전에도 언급한 바가 있지만 탄소섬유그리드가 기존콘크리트에

부착만 완전히 된다면 Fig. 23의 NT3와 같이 인장철근이 모두 항복한 후에도 탄소섬유그리드가 하중을 계속 받을 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론

- 1) 항복한 RC보의 보강재로서 2가지 형태의 탄소섬유그리드(C6, C8)를 사용하여 보강 후 파괴강도 시험을 실시한 결과, 보강 후 시험체의 항복강도가 보강 전에 비하여 약 10%이상 증가함을 알 수 있었다. 이것은 탄소섬유그리드의 보강효과로 판단되며, 이전에 수행된 공시체 시험결과(3)와 비슷한 정도의 효과를 나타내고 있다.
- 2) 보강 RC보의 탄소섬유그리드 보강효과는 구조계산값(C6:20%, C8:30%)보다 다소 작게 나타났다. 그리고, 시험체 C6A에서는 인장철근의 항복 이후 탄소섬유그리드가 항복할 때까지 충분한 강도를 발휘하였지만, 나머지 시험체들은 재료 자체의 강도를 충분히 발휘하지 못하였다. 그 이유는 신·구 콘크리트 사이의 탄소섬유그리드에 활동이 일어났기 때문인 것으로 판단되며, 이것은 시험체 보강 시 사용한 덮개 콘크리트의 두께가 부족했거나, 시공 결함으로 신·구 콘크리트가 완전히 부착되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 실제 시공 시에는 탄소섬유그리드가 제 강도를 발휘할 수 있을 만큼 덮개 콘크리트의 두께를 충분히 확보하고, 신·구 콘크리트가 완전하게 부착될 수 있도록 주의 기울여야 한다.
- 3) RC보의 하면만 보강한 A type과 하면과 측면을 모두 보강한 B type의 시험결과를 비교해 보면, B type의 경우에 보강효과가 약간 크게 나타났으며 특히, 파괴하중에서 확연한 증가를 보였다. 그리고, C6를 사용한 것과 C8을 사용한 것을 비교해 보면, 단면적이 큰 C8을 사용한 경우의 보강효과가 더 클 것으로 예상되지만, 본 시험에서는 더 작거나 같은 값을 나타내고 있다. 이것은 시공결함 등으로 인해 기존 콘크리트에 탄소섬유그리드가 확실하게 부착되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

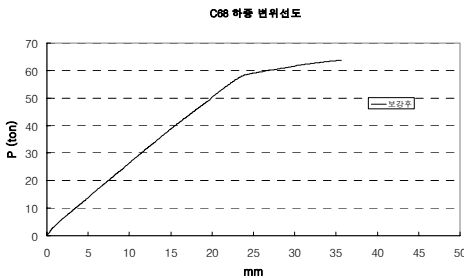


Fig. 22 하중-변위 선도(C68)

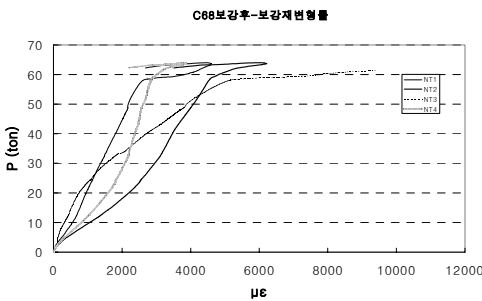


Fig. 23 탄소섬유그리드의 하중-변형률선도(C68)

- 4) 시험체 C68은 탄소섬유그리드 C6과 C8의 두 종류를 사용하여 보의 중앙에서 탄소섬유그리드 4개를 겹쳐서 보강한 것인데, 다른 시험체에 비하여 보강효과가 상당히 크게 나타났다. 따라서, 단면적이 서로 다른 탄소섬유그리드를 겹쳐서 보강하더라도 탄소섬유그리드의 강도 발현에는 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 5) 본 시험 결과를 토대로 탄소섬유그리드를 사용하여 기존 구조물의 보강을 실시할 경우 그 보강효과를 기대할 수 있으며, 또한 외부에 타설되는 콘크리트에 의해 보강 후 균열의 진전여부를 파악할 수 있으므로, 손상된 RC보의 유지관리와 안전성 확보에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 (주)엠에스아시아와 (주)건용건설 및 (주)도우엔지니어즈의 연구비 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 콘크리트 구조물의 보수·보강 New Fiber Grid-NEFMAC 공법, M. S. Asia, 1999.
2. 한국콘크리트학회, “철근콘크리트 구조설계 매뉴얼”, 1995.
3. 윤순종 외 5인, “탄소섬유그리드를 이용한 콘크리트 구조물의 보수보강공법 연구”, 홍익대학교 과학기술연구소, 1999, pp.1-74.
4. Sasahara, Wakui, “Flexural Behavior of RC beam externally reinforced by carbon or polyamide fiber, Part1. “Experimental study no flexural behavior of simple beams” Architectural Institute of Japan, Vol C, 1986, pp.435-436.
5. Sharif, A. et. al., “Strengthening of Initially Loadsed Reinforced Concrete Beam Using FRP Plate.” , ACI Structural Journal, V. 91, No. 2, Mar-Apr 1994, pp.160-168.
6. Saadatmanesh, H. and Ehsani, M. R., “Design Guideline for Flexural Strengthening of RC Beam with FRP Laminates”, Journal of Composites for Construction, ASCE, Nov., 1998, pp.158-164.

(접수일자 : 2001년 2월 23일)