

# 탄소섬유로 휨보강된 RC부재의 손상 정도에 따른 보유내력 평가

## Flexural Capacity Evaluation of RC Member Retrofitted by CFS and with Various Damage Level

서수연\*      김경태\*\*      윤승조\*      윤현도\*\*\*      최창식\*\*\*\*      최기봉\*\*\*\*\*  
Seo, Soo Yeon   Kim, Kyong Tae   Yoon, Seung Joe   Yun, Hyun Do   Choi, Chang Sik   Choi, Gi Bong

### ABSTRACT

Strengthening method using CFS have been developed for the rehabilitation of structures. However, it is very difficult to estimate their resistance capacity after retrofit. Therefore, damage information for strengthened structure with CFS investigated and the estimation method structural capacity by using the damage information is developed. The final objective of this research work is to propose the guideline and method for resistance capacity estimate of structure. In this paper, experimental study result with test parameters of number of carbon fiber sheets and bonding ratio is introduced.

### 1. 서론

건축구조물의 유지보수에 대한 관심이 높아지면서 많은 연구자들은 구조물이 노후화 및 지진 등의 외력에 의한 손상을 입어 보유내력을 충분히 발휘하지 못하게 되었을 때, 이들 구조물에 대한 보수 및 보강에 관해 수많은 연구를 해왔다. 이러한 일련의 연구 성과로 여러 종류의 구조물의 성능검사 방법과 보수/보강기술이 보급되어 실용화되어 구조물의 수명을 늘리는데 크게 공헌해 왔다. 실제로 국내에도 많은 보수/보강업체가 구조물의 손상정도를 파악하여 적절한 보수/보강 방법을 선택하여 구조물의 성능을 개선시켜왔다. 그러나, 과거에 이러한 보수/보강을 행한 구조물이 시간이 경과함에 따라 다시 보유내력을 충분히 발휘하지 못하게 되었고, 이에 따른 기존 보수/보강구조물의 건전도 평가를 다시 행할 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 현재 사용중인 건물의 보수/보강을 위한 성능검토에 구조물에 손상을 입히지 않고 성능을 검토하기 위해 널리 사용되고 있는 방법이 비파괴검사에 의한 구조물의 건전도 평가이다. 비파괴검사는 구조물의 건전도 평가방법중의 한 분류로 연구되어 이미 일반화 되어 선진국은 물론 국내에도 여러 가지 검사방법이 보급되어 있다.

본 연구는 기존 보수/보강된 구조물이 다시 손상을 입었을 때에 손상정도를 파악하고 적절한 보수/보강을 하기위하여, 비파괴 검사방법중의 하나인 음향방출(AE)기법을 사용한 기존 보수/보강된 구조

\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 충주대학교 건축공학과, 공학박사

\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 경원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

물의 건전성 평가기술을 개발하는 것을 최종목표로 한다. AE기법이란 구조물의 표면에 측정센서를 부착하고 상부에 일정하중을 재하하여 이때에 발생하는 균열음을 측정하여 컴퓨터로 분석해 균열의 위치를 파악하고, 재하하중에 따른 균열의 분포를 기본 데이터를 구조물의 손상정도를 역추적하는 방법이다. 이를 위해서는 우선 기존에 보수/보강된 구조물의 내력평가를 위한 기존 내력식의 분석 및 해석기법이 개발되어야 하며, AE기법의 활용을 위한 보수/보강된 부재의 균열검출 및 변형정보의 데이터화가 이루어져야 한다. 또한, 실험을 통한 해석모델과 AE기법의 신뢰성 평가를 위한 검증이 필요하다.

본 논문은 이러한 일련의 연구과정의 하나로 기존에 보수/보강된 부재의 손상정도에 따른 보유내력을 실험을 통해 밝히고자 탄소섬유로 휨보강된 시험체의 보강접수와 부착율을 실험변수로 하여 실험체를 제작하고, 부재의 휨거동 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다.

표 1 시험체 일람

실험체명	단면형상	지점거리	탄소섬유 보강방법		
			보강접수	부착율	부착위치
1	200mm X 300mm	1.7m (부재 길이 :2.0m)	0		
2			1	100%	밀면
3			2	100%	밀면
4			3	100%	밀면
5			1	90%	밀면중앙
6			1	80%	밀면중앙
7			1	90%	임의위치
8			1	80%	임의위치

## 2. 실험체 및 실험방법

본 실험의 보강방법에 따른 실험체를 표 1에 나타내고, 실험체의 단면형상과 치수를 그림 1에 나타내었다. 실험체는 모두 휨파괴가 선행되도록 제작되었다. 실험변수는 무보강시험체(1번)와 탄소섬유 보강접수의 차이에 따른 실험체(2번~4번), 탄소섬유 부착율 차이에 따른 실험체(5번~8번)로 구성되어 있다. 여기서 5번과 6번 시험체는 부착위치가 밀면중앙을 중심으로 밀면폭의 90%, 80%로 보강한 시험체이고, 7번과 8번 시험체는 임의의 위치에 50mm×50mm의 크기로 여러 곳에 걸쳐 디본딩 시킨 시험체이다.

실험체는 폭 200mm, 높이 300mm, 길이 2000mm의 실험체에 주철근(D13)을 하부에 4개, 상부에 3개 배근하였다. 띠철근은 중앙에 휨파괴를 유도하기 위하여 양쪽단부는 80mm 간격으로 중앙은 100mm 간격으로 배근하였다. 또한 실험시에 상부 콘크리에 압축파괴가 일어나는 것을 방지하기 위하여 콘크리트 강도를 35MPa이상으로 배합설계 하였다. 표 2는 실험에 사용된 재료의 물성치를 나타내고 있다.

그림 2는 실험체 설치상황을 나타내고 있다. 실험은 만능시험기에 의해 1점가력으로 실험을 행하였다. 하부의 지점은 부재에 모멘트가 걸리는 것을 방지하기 위하여 한쪽은 힌지로 다른 한쪽은 로울러로 지지 하였다. 실험체 하부에 LVDT를 설치하여 수직변위를 측정하였고, 바닥

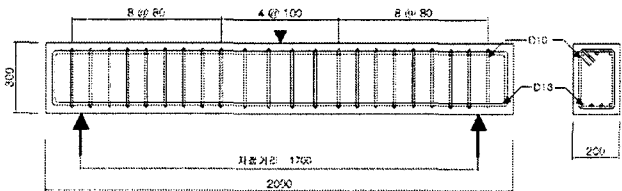


그림 1 시험체 상세

표 2 재료 물성치

종류	철근			콘크리트		탄소섬유
	항복강도 (MPa)	극한강도 (MPa)	연신율 (%)	압축강도 (MPa)	재령 (일)	인장강도 (MPa)
D13	516	625	20	37	170	4103
D10	345	423	31			

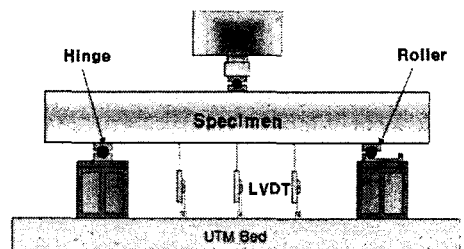


그림 2 시험체 설치상황

표면과 하부 주철근 중앙과 상부 콘크리트 표면에 각각 스트레인 게이지를 부착시켜 측정하였다.

### 3. 실험결과

그림 3에 대표적인 시험체(3번)의 최종 균열도를 나타내고, 표 3에 기존의 이론식(참고문헌1,2,3)에 의한 계산결과와 본 실험에 의한 실험결과를 나타내고, 그 결과를 비교하였다. 그림 4는 보강접수에 따른 하중-변위곡선(1번~4번 시험체)을 비교한 그래프이고, 그림 5는 탄소섬유 부착율(2번, 5~8번)에 따른 하중-변위곡선을 비교한 그래프이다.

시험체의 파괴형태는 전형적인 휨파괴 형태로 우선 중앙하부에 콘크리트에 균열이 발생하고, 철근 항복점까지 탄성거동을 하면서 하중이 증가한 후, 철근이 항복한 후 최대내력에 도달하였다. 그 후 보강쉬트가 떨어지면서 하중이 급격히 줄어들었다가, 수직변위가 진행되면서 상부 콘크리트에 압축파괴가 일어난 후, 최종적으로 철근이 파단되어 실험이 종료되었다. 본 실험에서 무보강 시험체(1번)를 제외한 모든 시험체가 시험체하부와 탄소섬유부착 표면의 분리에 의한 부착파괴에 의해 최대하중에 도달하였다.



그림 3 대표적인 시험체의 최종균열도

표 3 실험결과

시험체명	계산결과			실험결과			
	철근 항복 하중 (kN)	최대내력		철근항복내력 (kN)	최대내력		
		휨하중 (kN)	전단력 (kN)		실험치 /계산치 (%)	(kN)	실험치 /계산치 (%)
1	141	170	222	118	84	184	108
2	154	183	222	170	110	194	106
3	167	196	222	176	105	215	110
4	180	208	222	202	112	226	108
5	153	181	222	166	109	188	104
6	152	180	222	156	103	186	103
7	153	181	222	167	109	183	101
8	152	180	222	157	104	179	99

계산결과와 실험결과를 비교하여 보면 대부분 실험치가 계산치보다 10%정도 높게 나타났으나, 전반적으로 일정하게 분포하여 기존의 식을 사용한 휨내력의 예측은 가능할 것으로 판단된다. 단, 무보강 시험체의 철근항복내력만이 낮게(84%) 나타난 것은 주철근표면에 부착된 스트레인 값을 가지고 검토한 결과에서 게이지가 부착된 철근의 이상 거동에 의한 오류라고 생각된다. 하중-변위곡선(그림 4)에서는 1번 무보강시험체의 변위가 급격히 진전되는 곳이 150kN 부근이며, 이에 준하여 계산하면 계산치에 대한 실험치의 비율이 106%로 다른 실험체와 같은 양상을 보인다.

표 3과 그림 4에서 탄소섬유 보강접수에 증가에 따른 영향을 검토해 보면 철근항복이후에 보강접수가 많을수록 철근 항복내력과 최대내력은 증가하고, 최대변형능력은 약간 감소하였다. 그림 5의 부착율에 따른 영향을 보면 부착율 100%와 비교하여 부착율 80%까지의 내력저하는 크게 심각하지 않은 것으로 나타났다. 단, 탄소섬유의 탈락시기는 부착율이 낮을수록 빠르게 나타났고,

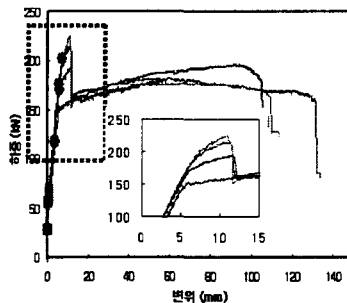


그림 4 보강접수에 따른 하중-변위

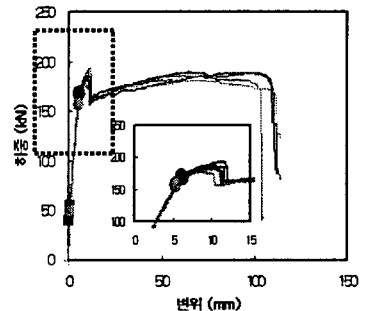


그림 5 부착율에 따른 하중-변위

임의위치에 부분적으로 부착율을 저감시킨 시험체가 가장 불리한 것으로 나타났다. 또한, 부착율 감소에 따른 실험치와 이론치와의 상관관계는 본 실험의 결과로선 그 경향을 명확히 밝히지 못했고, 이에 대한 추가검토가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 고찰

그림 6은 철근항복전의 2번~4번시험체의 상부로부터 하부까지의 스트레인분포 검토를 통한 중립축위치를 추정한 것이고, 그림 7은 철근항복후의 2번과 3번시험체의 스트레인변화 곡선

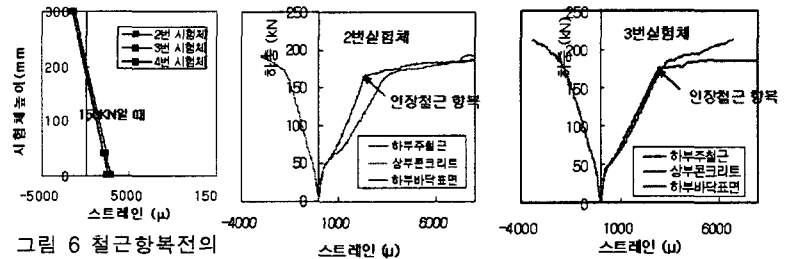


그림 6 철근항복전의 스트레인 분포

그림 7 철근항복후의 스트레인 변화곡선

이다. 그림 6에서 하부 인장주철근이 항복하기 이전에는 탄소섬유의 보강접수에 관계없이 단면내의 스트레인은 선형적인 분포를 가지며, 그 변화는 거의 동일한 중립축위치를 갖는 것을 알수 있다. 그림 7에서 철근 항복후의 스트레인 변화곡선을 보면 인장철근이 항복 후에 급격한 변화를 할 때에 탄소섬유의 스트레인이 충분한 변형을 하지 못하고 있다. 따라서, 탄소섬유와 콘크리트 표면사이에 부착부위에 응력이 집중되고, 이때의 스트레인 값은 본 실험에 사용된 탄소섬유가 보유한 스트레인의 50%정도에 불과하므로, 섬유의 파단에 앞서 부착파괴가 일어났다.

#### 5. 결론

- 1) 탄소섬유로 보강된 시험체의 휨내력 산정에 있어서 기존의 휨내력 산정식은 유효하다.
- 2) 탄소섬유 보강접수가 많을수록 철근 항복내력과 최대내력은 증가하고, 최대변형능력은 감소하였다.
- 3) 탄소섬유 부착율에 따른 영향은 부착율 80%까지의 검토에서 내려져하는 크게 심각하지 않은 것으로 나타났으나, 전반적인 경향을 파악하기 위해 추가 검토가 필요하다.
- 4) 주철근이 항복하기 이전에는 탄소섬유의 보강접수에 관계없이 단면내의 스트레인은 선형적인 분포를 가지며, 거의 동일한 중립축위치를 갖는다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 사회기반시설물평가 중점연구단의 연구비 지원과 재신건설(주)의 기술지원에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다. 또한, 연구수행에 관련한 자료제공과 조언을 해주신 건설기술 연구원의 유영찬 박사님께도 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부고시 건축구조설계기준, 2005
2. 한국건설기술연구원, "건축구조물 보수·보강공법의 성능평가에 관한 연구", '99 산·학·연 공동연구개발사업 최종보고서, 2001. 11.
3. 신성우의, "탄소섬유슈트의 보강량 및 정착길이가 RC보의 휨거동에 미치는 영향", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol.10 No.1, 1998, pp. 579~584