

# 콘크리트와 탄소섬유메쉬의 부착 파괴 거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Bond Failure Behavior between Parent Concrete and CFM

오 재 혁*	성 수 용*	한 병 찬**
Oh, Jae Hyuk	Sung, Soo Yong	Han, Byung Chan
윤 현 도***	서 수 연****	김 태 용****
Yun, Hyun Do	Su, Soo Yeon	Kim, Tae Yong

### ABSTRACT

The strengthening of concrete structures in situ with externally bonded carbon fiber is increasingly being used for repair and rehabilitation of existing structures. Carbon fiber is attractive for this application due to its good tensile strength, resistances to corrosion, and low weight. Generally bond strength and behavior between concrete and carbon fiber mesh(CFM) is very important, because of the enhanced bond of CFM. Therefore if bond strength is sufficient, it will be expected to enhance reinforcement effect. If insufficient, reinforcement effect can not be enhanced because of bond failure between concrete and CFM. This study is to investigate the bond strength of CFM to the concrete using direct pull-out test and tensile-shear test. The key variables of the experiment are the location of clip, number of clips and thickness of cover mortar. The general results indicate that the clip anchorage technique for increasing bond strength with CFM appear to be effective to maintain the good post-failure behavior.

### 1. 서론

최근에는 철근콘크리트(RC)구조물의 보강기법으로서 큰 인장강도와 탄성계수를 갖는 탄소섬유시트(CFS)나 탄소섬유적층판(CFRP) 등을 이용한 보강공법 개발과 이와 관련된 많은 실험 및 이론적 연구가 진행중이다. 신소재 보강재로 국내에 도입된 탄소섬유메쉬(Carbon Fiber Mesh, CFM)는 자중에 비해 높은 인장강도를 가지고 있으며, 가공성과 시공성이 용이하고 연성, 부식성 그리고 경제성 등의 장점을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다. 그러나 이러한 사실에도 불구하고 CFM을 이용하여 보강된 철근콘크리트 부재의 구조거동 및 모재와 보강재 사이의 합성작용에 관한 연구는 아직까지는 미흡한 실정이다. 그러므로 기존 구조물의 보강재에 대한 효율적인 활용과 합리적인 재료 수급 측면에서 CFM을 이용한 보강기법 및 보강된 부재의 구조성능 규명과 사용성 향상에 대한 연구는 매우 필요하다고 할 수 있으며, 본 연구에서는 탄소섬유와 콘크리트의 부착특성 규명을 위한 실험적 연구를 수행하였다.

\* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과

\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 조교수, 공박

\*\*\*\* 정희원, 광주대학교 건축공학과 교수

\* 본 연구는 건용(주)의 연구비 지원에 의한 연구의 일부임

\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 연구원, 공박

\*\*\*\* 정희원, 한양대학교 STRESS 연구교수

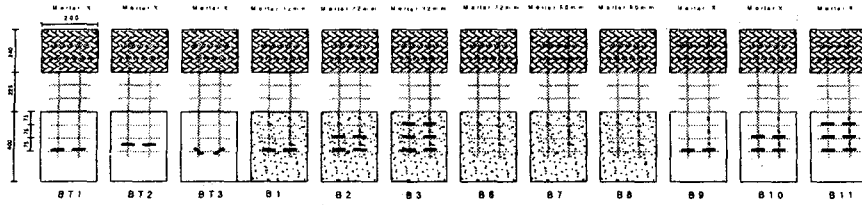


그림 1 시험체 형상 및 치수

일반적으로 탄소섬유 부착 보강공법은 보강재와 기존 부재와의 부착성능에 의해 보강효과가 지배받게 된다. 즉 부착강도가 충분하지 않을 경우 계면에서의 부착파괴가 발생되어 충분한 보강효과를 기대할 수 없게 되는데 이는 부착파괴의 큰 원인은 계면에서의 전단강도에 기인한다고 할 수 있으며 일본의 섬유보강관련 기준에서는 대부분 계면에서의 전단강도를 이용한 설계부착강도를 제시하고 있다.<sup>6,7)</sup>

본 연구에서는 CFM을 콘크리트에 부착하는데 있어서 정착철물의 유무, 정착철물의 정착위치, 정착철물의 개수, 부착모르타의 유무, 부착모르타의 두께 등의 실험변수를 설정하고 인장전단 실험을 수행함으로써 인장전단에 의한 콘크리트와 CFM 사이의 부착파괴 거동을 실험적으로 평가하는 것을 목적으로 하였다. 또한, 본 연구 결과를 통하여 CFM으로 보강된 구조물의 보강설계에 대한 기초자료로 활용코자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 시험체

실험에 사용된 시험체의 형상 및 일람표를 표1 및 그림 1에 각각 나타내었다. 모재 콘크리트는 20cm×20cm×40cm의 직육면체블럭으로써 설계기준강도 240kgf/cm<sup>2</sup>의 무근콘크리트를 사용하여 제작하였으며 부착강도 실험에 사용된 CFM의 전체길이는 67.5cm, 부착길이 26.25cm, 부착폭 15cm로 모두 동일한 조건하에서 변수별 3개, 총 36개를 제작하였다.

표 1 시험체 일람

시험체명	부착길이(mm)	Clip열수	Clip위치	mortar 피복(mm)	마감재료	시험체 수
BT-1	263	1	grid 중앙부	-	clip	3
BT-2	263	1	grid 끝단	-	clip	3
BT-3	263	1	grid 교차점	-	clip	3
B1	263	1	grid 끝단	32	clip+mortar	3
B2	263	2	grid 끝단	32	clip+mortar	3
B3	263	3	grid 끝단	32	clip+mortar	3
B6	263	-	-	32	mortar	3
B7	263	-	-	50	mortar	3
B8	263	-	-	60	mortar	3
B9	263	1	grid 끝단	-	clip	3
B10	263	2	grid 끝단	-	clip	3
B11	263	3	grid 끝단	-	clip	3

## 2.2 실험변수

본 연구에서의 시험체에 대한 변수는 정착철물의 유무, 정착철물의 정착위치, 정착철물의 개수, 피복 모르타르의 유무, 피복모르타르의 두께를 선정하여 실험을 수행하였다. 먼저 CFM을 콘크리트 블록에 정착하는데 있어 합당한 결속 방법을 결정하기 위하여 BT 시리즈(9개)에서와 같이 정착물의 정착위치를 3가지 형상으로 선정하였다. 다음으로 BT 시리즈에서 도출된 결과에 근거하여 정착철물의 유무, 정착철물의 개수, 피복모르타르의 유무, 피복모르타르의 두께를 변수로 하여 각각의 변수에 대하여 3개씩 총 36개의 시험체를 제작하였다.

## 2.3 재료실험

본 연구에 사용한 재료는 CFM, 정착철물, 부착모르타르써 각 재료의 특성에 관한 재료시험 결과를 그림 2~그림 4에 각각 나타내었다. 그림으로부터 CFM의 인장강도와 탄성계수는 각각 15000~16000kgf/cm<sup>2</sup>, 0.8~0.85E6kgf/cm<sup>2</sup>으로써 선형적 특성을 보였으며, 인장시험을 통한(Tensile-coupon Test) 정착철물의 재료 특성은 항복강도 및 인장강도가 각각 2500kgf/cm<sup>2</sup>, 3400kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 또한 부착모르타르의 압축강도는 KS L 5105 시험방법에 의한 5cm×5cm×5cm 큐빅공시체 6개를 제작하여 압축강도 실험을 실시하였으며 실험결과 압축강도는 550~600kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

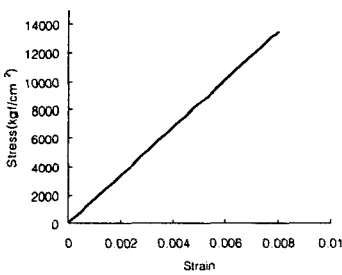


그림 2 CFM의 응력도-변형률 관계

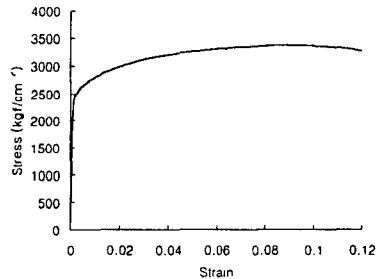


그림 3 정착철물의 응력도-변형률 관계

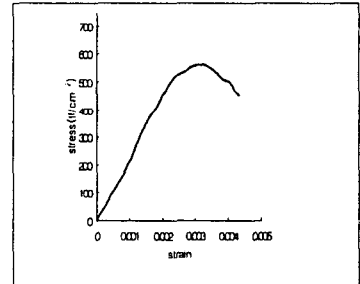


그림 4 부착모르타르의 응력도-변형률 관계

## 2.4 실험방법

그림 5는 인장전단 실험을 위한 시험체의 설치 상황을 나타내고 있다. 실험은 충남대학교 구조실험동에 진행되었으며 시험체는 콘크리트와 CFM의 계면에서 인장전단이 발생하도록 상부고정판을 이용하여 모재콘크리트를 고정하였다. 하중은 1mm/min의 속도로 섬유가 파단 되거나 모재와 부착모르타르의 계면에서 부착파괴가 발생할 때까지 재하 하였으며 변형계이지(Strain Gauge)를 그림 5에 나타낸 바와같이 부착된 CFM의 각 그리드 중앙부에 1개씩 부착하여 변형률을 측정하였고, 변형계(SDT)를 각각 4곳에 설치하여 순수 변위량과 미끄러짐 양을 얻을 수 있도록 하였다. 또한 본 실험에서의 측정된 값은 자료획득장치(TDS-601)를 통하여 측정 하였다.

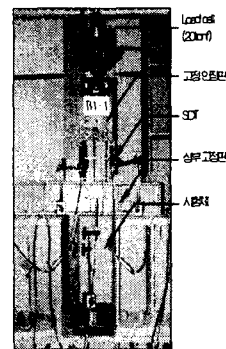


그림 5 시험체 설치 상황

표 2 부착강도 실험 결과

Type	시험체명	항복강도 (tonf)	항복강도시 변위 (mm)	최대강도 (tonf)	최대강도시 변위 (mm)	초기강성 (kgf/mm)	파괴 모드
I	BT-1	0.038	1.25	0.06	20.12	$4.13 \times 10^2$	메쉬의 미끄러짐 메쉬의 미끄러짐 메쉬의 미끄러짐
	BT-2	0.13	0.52	0.215	6.29	$3.9 \times 10^2$	
	BT-3	0.15	0.35	0.18	12.12	$1.45 \times 10^2$	
II	B1	1.32	1.78	1.383	4.117	$1.22 \times 10^3$	부착모르터 균열 부착모르터 균열 메쉬의 인장 파괴
	B2	1.82	3.13	1.87	4.92	$8.9 \times 10^2$	
	B3	2.05	4.13	2.54	4.341	$9.63 \times 10^2$	
III	B6	1.68	2.65	1.7	2.807	$8.83 \times 10^2$	박리 파괴 박리 파괴 박리 파괴
	B7	1.04	1.16	1.59	3.441	$1.15 \times 10^3$	
	B8	0.43	0.65	0.81	1.066	$7.04 \times 10^2$	
IV	B9	0.14	0.35	0.258	2.241	$3.44 \times 10^2$	메쉬의 미끄러짐 메쉬의 미끄러짐 메쉬의 미끄러짐
	B10	0.35	0.75	0.495	2.811	$5.24 \times 10^2$	
	B11	0.52	1.24	0.688	6.057	$5.51 \times 10^2$	

### 3. 실험결과 및 분석

실험결과를 표 2에 정리하였으며, 각각의 변수별 하중-변위관계를 그림 6~9에 나타내었다. 실험결과에 대한 각 변수별 효과를 분석하면 다음과 같다.

#### 3.1 정착철물의 부착위치에 따른 효과

정착철물의 부착위치에 따른 효과 분석을 위하여 Type I 하중-변위관계를 그림 6에 나타내었다. 시험체의 전반적인 거동을 분석해 보면 먼저 모든 시험체는 하중가력 후 초기 하중 재하 단계에서부터 정착철물과 CFM의 미끄러짐이 발생하였으며 이러한 미끄러짐 성분에 의해 거동이 결정되는 것으로 나타났다. 또한 최대강도는 초기 하중 재하시의 미끄러짐 성분을 구속하는 정착철물의 위치에 따라 결정되었으며 위치별 최대강도 및 강성비교에서는 표 2과 그림 6에 나타난 바와 같이 BT2 시험체가 가장 우수한 것으로 평가되었다.

#### 3.2 정착철물의 개수에 의한 효과

정착철물의 위치별 평가를 위한 BT2 시험체의 형태가 최대강도와 강성 면에서 타 시험체에 비해 우수한 것으로 나타나 BT2 시험체의 정착철물 형태를 기준으로 정착철물의 개수에 변수를 두어 실험을 계획하였다. 그림 7에 정착물의 설치 열수에 따른 하중-변위관계를 비교하여 나타내었다. 정착철물의 개수에 의한 최대강도에 있어서는 표 3에서 나타나는 것과 정착철물이 1열, 2열, 3열로 증가함에 따라 최대강도 또한 1열 설치에 비해 각각 191%, 267%로 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 그림 6의 분석으로부터 정착철물의 개수가 증가할수록 정착철물과 CFM의 미끄러짐에 의한 거동에서 CFM의 변형성분에 의한 거동성분이 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 최종적인 파괴는 CFM과 정착철물의 미끄러짐에 의해 결정되는 것으로 나타났다.

#### 3.3 부착모르터의 두께에 대한 효과

부착모르터의 두께는 시공현장에서 일반적으로 적용되는 32mm와 여기에 1.5~2배의 부착두께를 (50mm, 60mm) 덧붙인 변수를 갖고 실험을 수행하였으며 하중-변위관계를 그림 8에 나타내었다. 실험 결과 모든 시험체의 파괴형태는 모재콘크리트와 부착모르터의 급작스런 박리에 의해 실험이 종료되었다. 그림 8의 하중-변위관계 곡선으로부터 피복 모르타르의 두께가 증가할수록 초기 강성이 떨어지고 최대강도도 B6과 B7 시험체의 강도에 이르기 전에 피복모르타르가 콘크리트에서 완전 박리되는 결과를 보임으로써 CFM의 부착강도에 대한 피복 모르타르의 두께의 효과는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이러한 현상은 콘크리트의 부착강도가 큰 분포특성을 보이기 때문으로 분석되었다.

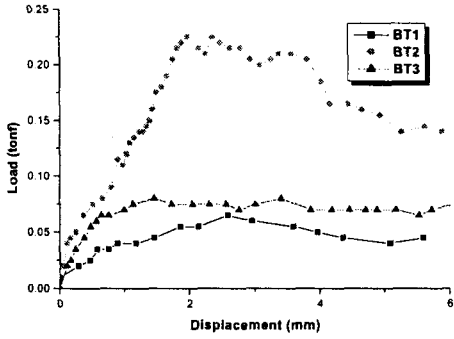


그림 6 정착철물의 위치에 따른 하중-변위 곡선

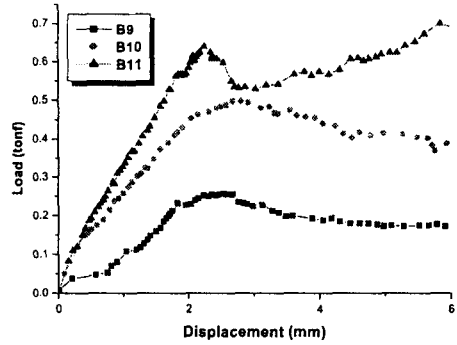


그림 7 정착철물의 설치 열수에 따른 하중-변위 곡선

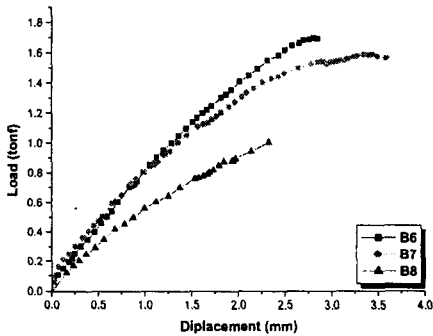


그림 8 부착모르터의 두께에 따른 하중-변위 곡선

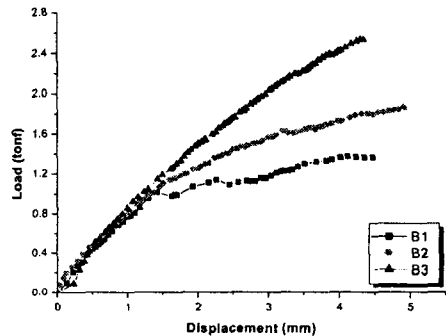
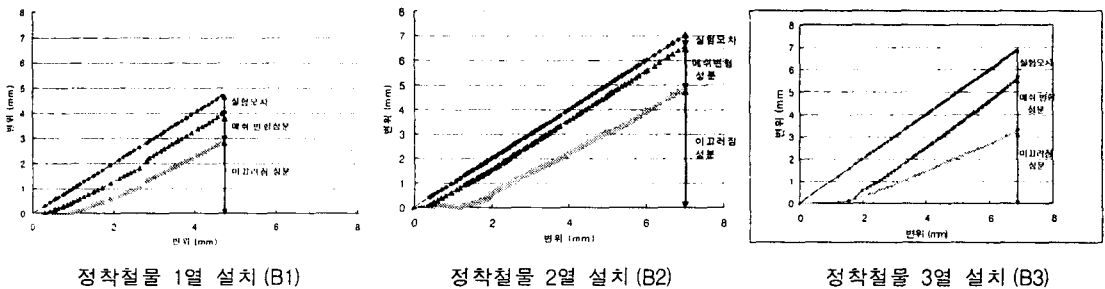


그림 9 부착모르터+정착철물의 변수에 대한 하중-변위 곡선

### 3.4 부착모르터 + 정착철물의 효과

정착철물과 피복모르타르를 이용한 CFM의 부착성능을 검토하기 위한 실험을 실시하였으며 표 2 및 그림 9에 결과를 나타내었다. 먼저 시험체의 파괴 모드는 피복모르타르만의 변수를 가진 Type III 시험체에서의 급작스런 박리파괴와는 달리, CFM의 인장파괴와 피복콘크리트의 균열에 의한 파괴 유형을 나타내고 있다. 이러한 거동특성을 CFM의 미끄러짐과 인장변형에 의한 변위성분으로 분해하여 그림 10에 각각의 시험체에 대한 변형성분을 나타내었다.



정착철물 1열 설치 (B1)

정착철물 2열 설치 (B2)

정착철물 3열 설치 (B3)

그림 10 부착모르터 + 정착철물의 변수에 따른 변형성분

그림 10의 각 형태의 변형성분에서 알 수 있듯이 하중의 증가에 따라 정착철물의 개수가 많은 시험체일수록 전체 변위에 있어 미끄러짐 성분보다 매쉬의 변형성분의 비율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 정착철물이 CFM을 구속하여 미끄러짐 현상을 억제함으로써 하중의 증가에 의해 매쉬의 변형이 상대적으로 증가한 것으로 판단되었다. 또한 초기의 미끄러짐 성분이 발생하지 않은 전체 변위 약 1~1.5mm에서의 Type II의 시험체 B1, B2, B3의 하중은 그림 9의 하중-변위 곡선상에서 각각 B1에 대해 각각 110%, 125%의 증가하는 경향으로 나타남으로써 정착철물이 피복콘크리트와 CFM 및 모재 콘크리트의 미끄러짐 강도 증가에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서 제안한 각 변수별 CFM과 콘크리트 사이의 부착과피 거동에 관한 실험적 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 정착철물의 정착위치는 하중 가력시 정착철물과 CFM 사이의 미끄러짐을 효과적으로 제어할 수 있는 BT2의 형태가 우수한 것으로 평가되었다.
- (2) 정착철물의 개수에 따른 최대강도에 있어서는 표 3에서 나타나는 것과 정착철물이 1열, 2열, 3열로 증가함에 따라 최대강도 또한 B1에 대해 각각 110%, 125%의 증가하는 경향으로 나타났다. 이는 정착철물의 개수의 증가에 의해 하중 재하시의 미끄러짐 현상을 억제하는 효과가 증가하는 것으로 판단된다.
- (3) 피복모르타르의 두께를 변수로 선정한 실험(Type III)은 피복모르타르가 CFM의 부착강도에 대한 피복 모르타르의 두께의 효과는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이러한 현상은 콘크리트의 부착강도가 큰 분포특성을 보이는 것에 기인할 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) 피복모르타르 + 정착철물의 변수 실험(Type II)결과에서는 Type IV의 시험체에 대해 약 4배, Type III의 시험체에 대해 약 1.2배의 강도증진 효과가 있는 것으로 보인다. Type III의 경우와 비교해 강도증진의 차이는 적지만 파괴모드에 있어서 Type III의 실험결과가 급작스런 피복 모르타르의 박리에 의한 파괴가 발생한 반면, Type II의 실험에서는 CFM의 인장파단과 피복모르타르의 균열에 의한 파괴의 양상을 보이고 있다.

#### 참고문헌

- 1) 조영홍 외 4명, “탄소섬유 보강부재의 단부탈락 방지 방안에 관한 실험”, 콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 2000
- 2) 김두벽 외 2명, “탄소섬유 보강부재의 단부탈락 방지 방안에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 2001
- 3) 최근도 외 5명, “탄소섬유쉬트와 콘크리트의 부착”, 콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 2000
- 4) 신영수 외 3명, “탄소섬유쉬트로 밀면보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동”, 대한건축학회논문집, 1995
- 5) 오용복, “炭素纖維쉬트 補強된 鐵筋콘크리트 보의 構造的舉動과 定着에 관한 實驗研究”, 대한건축학회논문집, 1998
- 6) 日本コンクリート工學協會, 連続纖維補強コンクリート研究委員会報告書, 1997
- 7) 鉄道綜合技術研究所, アラミド纖維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針, 1996