

# 보수 · 보강재료 및 공법개발연구

## Development of Repair Materials and Rehabilitation Techniques

송병표\*  
Song, Byeong Pyo

한만엽\*\*  
Han, Man Yop

황의승\*\*\*  
Hwang, Eui Seung

홍영균\*\*\*\*  
Hong, Young Kyun

---

### Abstract

Many strengthening methods are introduced and used to rehabilitate existing structures. However, both theoretical background and application techniques are not. One of the most popular methods is bonded plate method using either steel plate or carbon plate. For bonded plate method, bonding at the end of the plate is the most important properties. In this study, a method to reduce the stress distribution at the end of the bonded plate is found and tested. The results showed that the proposed end anchoring method is effective.

---

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

현재 우리나라에는 콘크리트구조물의 노후화, 교량의 경우 교통량증가, 상재하중의 증가 등으로 내하력 감소에 따른 여러 기법의 보수 · 보강기법이 소개되어 활용되고 있으나, 그 적용과 실무에서의 이론적, 기술적인 체계가 확립되어 있지 못하며, 전문 인력의 부족, 유지관리의 비효율적인 실정이다. 따라서 효율적이고 체계적인 보수 보강을 위해서는 충분한 이론적 연구와 병행하여 실무에서의 확실하고 정확한 경험을 통해 기술을 축척하는 하는 것이 무엇보다 중요하며 구조물의 안전성, 환경에 미치는 영향 및 경제성 등을 고려하여 선택 시공하여야 한다.

---

\* 정회원, 아주대 토목설계공학과 석사과정

\*\* 정회원, 아주대 토목설계공학과 부교수

\*\*\* 정회원, 경희대 토목공학과 조교수

\*\*\*\* 정회원, 홍익대 건축학과 조교수

## 1.2 연구 목적 및 내용

본 연구에서는 노후 콘크리트 구조물의 보강 기법으로 가장 널리 쓰이고 있는 강판주입공법과 탄소섬유쉬트접착공법에 관한 기법을 실내실험을 실시하였다. 보강공법은 강판의 두께, 길이, 부착면적 등의 실험변수가 있으나 본 실험에서는 강판의 경우 단부 보강을 각각의 시험체마다 틀리게 하였고, 탄소섬유쉬트 보강의 경우 각각의 시험체마다 단부변형을 틀리게 하여 무보강 실험체와 비교, 분석하였다. 실험결과는 각각의 변수에 대해 정리하여 보강방법의 영향에 따른 들보의 거동특성, 보강성능, 파괴형상과 하중-변위, 최대하중, 균열하중, 균열분포 등을 비교, 분석하였다.

따라서 본 연구의 주된 목적은 상기된 실험을 통하여 재래식 보강공법과의 성능 비교를 통하여 보강 효과를 구명하는데 있다.

## 2. 실 험

### 2.1 사용 재료

보강재의 접착재료로 쓰이는 에폭시는 국내T사의 주입용 에폭시인 EPX-3제품을 사용하였고, 보강재로 사용한 강판은 항복강도  $2,400\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 국내산 SS41강판을 사용하였으며, 탄소섬유쉬트(Carbon-Fiber Sheet)는 두께  $0.165\text{mm}$ 인 외국산 제품을 사용하였다.

### 2.2 시험 계획

#### 2.2.1 무보강 시험체

철근 콘크리트 기준시험체의 단면치수 및 배근현황은 그림 1과 같이 가로×세로  $15\times 25\text{cm}$ , 인장철근 2-D13, 압축철근 2-D10, 순지간 길이  $200\text{cm}$ , 총길이  $240\text{cm}$ 이다. 시험체의 전단파괴를 막기 위해 D10 스티럽을  $10\text{cm}$ 간격으로 배근하였다. 시험체 제작은 먼저 거푸집의 변형을 방지하기 위해 앵글로 조립한다음 그안에  $12\text{mm}$  양면코팅처리된 합판을 이용하였으며, 거푸집 제거가 용이하도록 거푸집 내부는 박리제로 마감하였다.

본 실험에서 사용한 콘크리트는 최대골재 치수  $25\text{mm}$ , 설계강도  $280\text{kg}/\text{cm}^2$ , 슬럼프  $12\text{cm}$ 로 설계된 레미콘제품을 사용하였다.

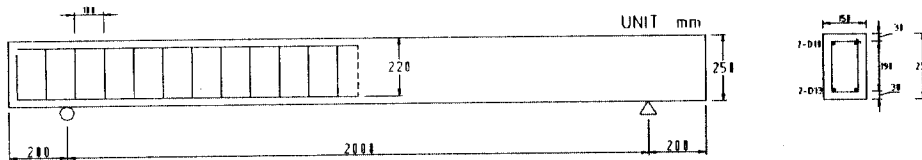


그림 1 시험체형상 및 제원(단위 : mm)

#### 2.2.2 보강 시험체

시험은 1개의 무보강 시험체를 기준으로 하여 그림 2에서와 같이 탄소섬유쉬트로 보강된 5개의 시험체와 강판으로 보강된 6개의 시험체, 총 12개의 시험체를 제작하였다.

시험은 1개의 무보강 시험체를 기준으로 하여 그림 2에서와 같이 탄소섬유쉬트로 보강된 5개의 시

협체와 강판으로 보강된 6개의 시험체, 총 12개의 시험체를 제작하였으며 시험체 보강의 자세한 사항은 표 1에 정리 하였다.

탄소섬유쉬트 보강의 경우, 우선 재래식으로 길이 180cm, 폭 13cm로 하여 2겹으로 부착하였으며, 1개의 시험체에 시행하였다. <단부변형1>은 길이를 변수로 하여 단부를 변형시켜 180cm(1겹)를 부착한뒤 140cm(1겹)를 부착하여 2개의 시험체에 시행하였고, <단부변형2>는 180cm(1겹)를 부착시킨 다음 120cm(1겹)를 접착하여 2개의 시험체에 시행하였다.

강판보강의 경우는 우선 재래식으로 두께 3mm로 된 에폭시층위에 두께 3mm로 된 강판으로 부착하여 2개의 시험체에 시행하였다. <단부보강1>은 단부주위를 보강시키는 방법으로 우선 3mm의 에폭시층위에 모서리를 둥글게 처리한 길이 30cm강판을 압착법으로 부착시킨 다음 그 위에 180cm강판을 주입법으로 부착하여 2개의 시험체에 시행하였다. <단부보강2>는 3mm의 에폭시 층위에 180cm강판을 주입법으로 부착한다음 똑같은 방법으로 30cm강판을 단부에 압착법으로 부착하여 2개의 시험체에 시행하였다. 강판의 단부보강에서 강판은 에폭시와 접촉하는 면은 핸드 연마기로 표면처리를 하였다.

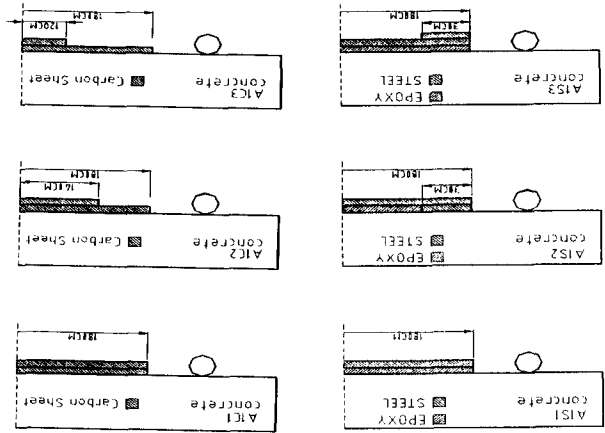


그림 2 보강재 단부의 변형(보강) 형상

표 1 시험체 제원

시험체명	보강 종류	보강 구분	보강 제원	보강 세목	시험체 수
A1N0	무 보 강				1
A1C1	탄소섬유 쉬트보강	재래식	단두께 : 0.165mm 폭 : 13cm	180cm(1ply)+ 180cm(1ply)	1
A1C2		단부변형1		180cm(1ply)+ 140cm(1ply)	2
A1C3		단부변형2		180cm(1ply)+ 120cm(1ply)	2
A1S1	강판 보강 (주입식)	재래식	두께 : 3mm 폭 : 13cm	180cm	2
A1S2		단부보강1		30cm+180cm	2
A1S3		단부보강2		180cm+30cm	2
총 시험체 개수					12

### 2.2.3 재하 및 측정방법

시험체의 중앙하단에는 LVDT변위 측정계를 사용하였고, 보강재 하부에는 7개의 Strain gauge(5mm), 콘크리트 면에는 총 8개의 Strain gauge(60mm)센서를 부착하여 변형율을 획득하였다. 하중재하는 보의 중앙에 1점재하를 하였으며, 파괴하중전까지는 매 100kg, 파괴하중 이후에는 보강재가 분리될 때까지 변위가 0.5cm 초과시 마다 측정치를 TDS302 정적측정장비와 컴퓨터 프로그램인 T-monitor를 이용하여 측정치를 획득하였다. 하중재하시 하중값을 도출하기 위해 로드셀(Road Cell)을 사용하였고, 가압은 30t의 유압잭을 이용하였다.

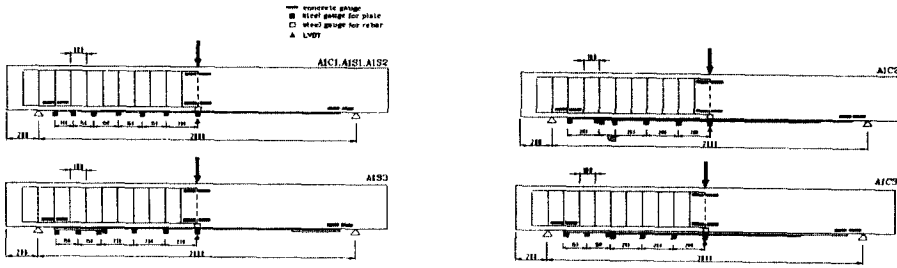


그림 3 시험체별 변형을 측정 위치

## 2.3 시험 결과 및 분석

### 2.3.1 하중-처짐관계

그림 4(a)에서 강판보강의 경우 먼저 보강유무가 처짐에 미치는 영향을 살펴보면 보강을 한 경우가 처짐량이 작고 최종적인 파괴하중도 월등한 향상을 보이고 있으며, 단부보강을 통한 각 시험체의 최대 하중이나 처짐의 크기는 거의 비슷하게 나타나고 있다. 탄소섬유슈트보강 그림 4(b)의 경우 강판보강 보다는 처짐이나 하중의 향상이 적으나 강판보강의 경우와 마찬가지로 단부변형을 달리 하여도 각각의 시험체의 파괴하중이나 처짐의 양상은 거의 비슷한 양상을 보이고 있으며, 모든 시험체에서 최대하중 이후에는 급격한 부재의 내하력이 감소하는 경향이 나타났다.

특히, 시험체마다의 단부변형(보강)을 통해 처짐의 감소를 기대했으나 표 2에서 보듯이 파괴하중인 처짐의 분포에는 거의 차이가 없는 것으로 판명되었다. 그리고, 단부변형을 의하여 2겹으로 시공시 첫 번째 부착슈트만으로도 단부의 응력을 거의 다 부담할 수 있었고, 두 번째 부착슈트는 부착면적을 작게 하여도 부재의 내하력 향상이 거의 영향이 없는 것으로 사료된다.

하중재하시 관측된 균열하중은 무보강시험체를 기준으로 탄소섬유슈트보강의 경우 약 155%의 증가를 보이고 있으며, 강판보강의 경우는 160% 정도의 향상을 나타내고 있다. 파괴하중의 경우에는 탄소섬유슈트보강의 경우 무보강시험체보다 약 160% 정도의 내력증가를 보이고 있으며, 강판보강의 경우 단부보강에 의한 파괴하중은 증가를 보이고 있으나 거의 차이가 없고, 전체적으로는 약 240% 정도의 내력증가 경향을 보이고 있다.

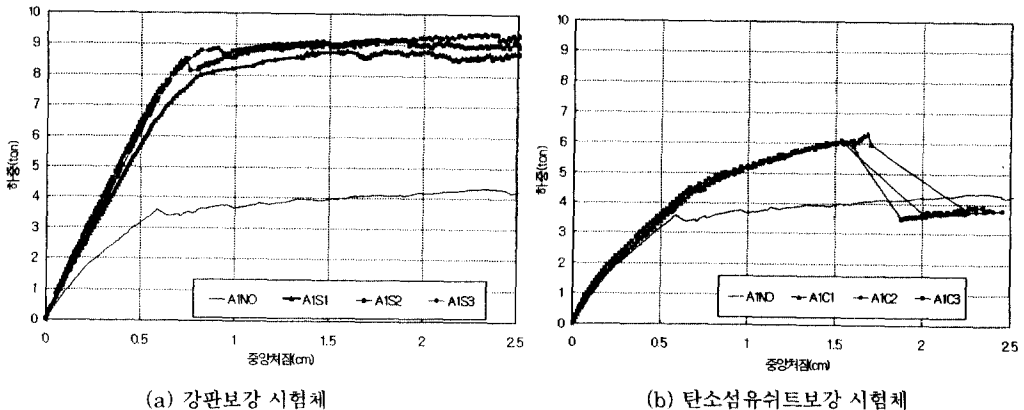
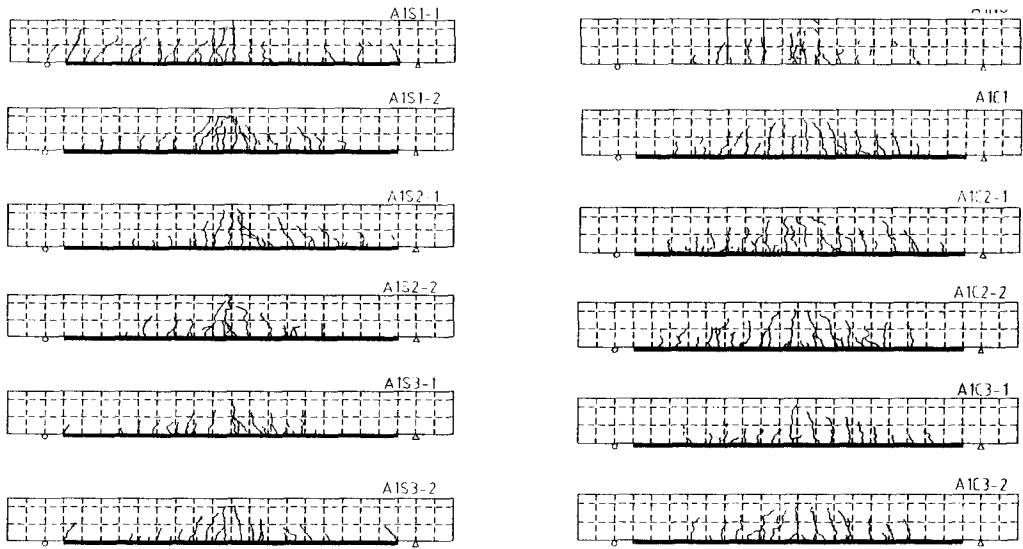


그림 4 하중-처짐 곡선

표 2 시험체 결과

구 분		균 열 하 중			파 괴 하 중		
		관측치 (ton)	평균 (ton)	강도증감 (%)	관측치 (ton)	평균 (ton)	강도증감 (%)
A1N0	무보강	1.2		100(기준)	3.6		100(기준)
A1C1	탄소섬유쉬트	2.0	1.87	167	6.3	5.83	175
A1C2		1.6		133	5.7		158
A1C3		2.0		167	5.5		153
A1S1	강판	4.0	4.03	333	8.2	8.50	228
A1S2		4.0		333	8.6		239
A1S3		4.1		342	8.7		242



(a) 강판보강시험체

(b) 탄소섬유쉬트보강 시험체

그림 5 시험체의 균열형상

### 2.3.2 균열 형상

균열분포는 전시간에 걸쳐 고르게 분포되었으나, 특히 강판보강의 경우, A1S1, A1S2-1, A1S2-2, A1S3-1의 시험체는 콘크리트와 보강재 계면사이의 사인장균열이 관측되었다. 전체적으로 강판보강 시험체보다는 탄소섬유쉬트보강시험체가 더 많은 균열을 나타내고 있다.

탄소섬유쉬트보강시험체의 경우는 전형적인 휨균열 양상을 보이다가 모든 시험체에서의 보강재 단부에서 bond failure가 발생한 후 부재의 파괴에 이르렀으며, 강판보강시험체의 경우는 보의 중앙부 터 균열이 발생하여 사인장 균열로 발전하면서 강판이 부재의 탈락현상이 관측되었다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 현재 보수·보강재료로 널리 쓰이고 있는 강판과 탄소섬유쉬트를 이용한 보의 내하력 성능시험을 하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 강판보강의 경우 단부 보강을 달리 하여도 파괴하중의 효과는 기대할 수 없었다. 또한 보강한 보의 구조성능 실험 결과, 보강성능, 처짐량 및 강성의 증가에 효과가 있었으나, 탄소섬유쉬트보강의 경우는 단부변형이 상이하여도 보강성능에는 별다른 효과가 없는 것으로 판명되었다. 앞으로의 연구에서는 단부에서의 확실한 부착에 대한 체계적인 이론적 해석과 이의 적용이 병행되어야 할 것이다.
- 2) 강판보강시험체의 균열형상은 콘크리트보의 중앙부위에서 균열이 시작되어 지점으로 퍼지는 양상을 보이고 있으며 보강재 단부에서의 사인장균열이 4개의 시험체에서 발견되었다. 탄소섬유쉬트보강의 균열양상은 강판보강보다는 전반적으로 넓게 퍼져 있는 양상을 띠고 있다.
- 3) 보의 정적실험에서 보강시험체의 균열하중이나 파괴하중이 무보강시험체보다 월등한 것으로 관측되었으며, 탄소섬유쉬트보강시험체의 경우는 모든 시험체에서의 보강재 단부에서 bond failure가 발생한 후 부재의 파괴에 이르렀다. 탄소섬유쉬트보강보다는 강판보강된 시험체가 더 높은 내하력의 성능향상이 있었다.
- 4) 정적실험시 보가 파괴하중을 넘어서도 더 많은 하중을 가해야 보강재의 탈락현상이 나타났다. 탈락현상은 거의 모든 시험체에서 보강재 단부에서 탈락현상으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 에폭시접착 강판보강 철근콘크리트보의 역학적 거동에 관한 연구, 숭실대학교 생산기술연구소, 1994
2. 윤성원, 홍영균 "탄소섬유sheet를 이용한 콘크리트 구조물의 보강", 한국콘크리트학회지, 1994, 8, pp.42-52
3. 박찬민, 이일용, "노후 콘크리트 구조물의 보강 및 보수대책 연구(Ⅰ)", 1995년도 연구보고서
4. 건설교통부, "철근콘크리트구조물의 보수·보강 신기술 개발", 1994
5. T.S BOND건설공업, "탄소섬유sheet보강공법",
6. 구조보강연구회, "콘크리트 구조물의 보수·보강 기술 세미나 발표집", 1996, pp.112-117
7. Robert T.M and Haji-Kazemi H : Theoretical Study of the Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Externally Bonded Steel Plates, The Structural Engineer, March 1989, pp.39-55