# 고강도 RC보의 탄소섬유쉬트 보강에 대한 연구

# A Study on Carbon Fiber Sheet Rehabilitation of Reinforced High Strength Concrete Beams

김 종 효* 곽 계 환**
Kim, Jong-Hyo Kwak, Kae-Hwak

ABSTRACT

In recent years the research and development about the new material proceeds rapidly and actively in building industry. We are concerned with high-strength concrete as a new material. As the building structure becomes bigger, higher and more specialized, so does the demand of material and member with high strength for building expands greatly. In the future, We will quite need to reseach repair and rehabilitation to make high strength concrete structural building for our safe. So, I did an study on carbon fiber sheet rehabilitation(CFSR) of reinforced high strength concrete beams. The carbon fiber reinforced plastic(CFRP) bonding method is widely used for reinforcing the existing concrete structure among the various methods.

The test results indicate that CFS is very effective for strengthening the damaged beams and controlling deflections of the repaired beams. When carbon fiber sheet rehabilitation of reinforced high strength concrete beams heppened diagonal crack, the increase in the number of CFS layer didn't effect the increase in strength of beams. Also, by changing the CFS stick position gave diversified ultimate load in CFSR beams.

## 1. 서론

최근 콘크리트 구조물이 점차 대형화, 초고층화, 그리고 특수화 되어감에 따라 보다 강하고 합리적인 콘크리트 개발이 요구되고 있어 이에 따른 고강도 콘크리트의 개발이 급속하게 발전하고 있다. 콘크리트의 강도를 크게 향상시켜주는 고강도 콘크리트 사용은 구조물의 단면축소 및 자중감소로 인하여 재료를 줄일수 있어 경제적인 측면에서 유리하다.

현재 국내에서는 보수, 보강에 관련된 공사비가 급격히 증가하는 추세에 있고, 우리나라의 건설 실정과 유사한 이웃 일본에서는 이미 총건설 공사비의 30% 정도가 보수, 보강에 사용되고 있는 실정이며 미국 통계에서는 최근 19년간 약3.3조달러에 이른다. 이와같이 비용이 엄청난 수준임에도 불구하고 보수, 보강된 구조물이 사용기간 중에 제대로 성능을 발휘하지 못하고 있다. 이러한 상황속에서 앞으로 고강도 콘크리트 수요가 더욱 증가될것으로 판단되어 보수, 보강 방법이 개발됨이 요구된다.

본 연구에서는 고강도 철근콘크리트에 탄소섬유쉬트로 보강하여 보강효과를 구조거동 측면에서 분석하고, 보강된 단면내의 응력분포를 측정하여 탄소섬유쉬트 보강을 위한 적절한 설계방법을 제시하고자 한다.

1) * 원광대학교 대학원 석사과정
2) ** 정회원, 원광대학교 교수

## 2. 실 험

### 2.1 시험체 계획

본 연구에서 고강도 콘크리트를 사용한 공시체 32를 제작하고 시편의 전단보강비 ($R_v=[\rho_w/\rho_{v(ACI)}]\times100$)로서 ACI 318-89 (11-17)식에 따라 1개의 시편을 제작하였다. 시편의 전단 지간비는 1.5, 단면은 15×30×130cm, 지간의 길이는 95cm로 일정하게 하였다. 그리고 전단보강 철근은 ACI 318-89 규준에 따라 산정하여 배근하였다.인장철근비($\rho_w$=0.015)는 일정하게 계획하였고 부착파괴를 방지하기 위하여 양 지점 부근에 17.5cm씩 여유길이를 두어 설치하였다. 제작된 보에 탄소섬유로 보강하였으며 탄소섬유의 폭이 25cm이므로 5cm의 겹이음 길이를 주었다.

표 2.1 실험시편의 명칭

| Beams | Specimen beam size(cm) | Tensile steel bars(mm) | Vertical steel bars(mm) | a/d | 보수, 보강 유, 무 |
|---|---|---|---|---|---|
| K S 1 | 15×30×165 | $\phi$19 | $\phi$10 (6EA) | 1.5 | 무 |
| K I 1 | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 무 |
| JC1(1겹) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| JC2(2겹) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| JC3(5cm) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| JC4(10cm) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| JC5(20cm) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| JC6(25cm) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| JC7(20cm) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |
| (밑면없음) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보수 |
| H C 1 HC2(20cm) (밑면없음) | 15×30×165 | $\phi$19 | None | 1.5 | 보강 |

### 2.2 사용재료

본 연구에서는 여러탄소섬유중 일본 SHO-BOND건설(주)와 TORAY(주)간 공동개발한 일방향성 탄소섬유인 NAC - 700을 사용하였다.

### 2.3 배합설계

표 2.2 콘크리트의 배합표

| 콘크리트의종류 | 굵은골재 최대치수 (mm) | 슬럼프 범위 (cm) | 물결합재비W/C+SF (%) | 잔골재율 (S/A) | 실리카흔입율 (%) | 단위량(kg/m³) | | | | | SP (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | w | C | SF | S | G | |
| 고강도콘크리트 | 25 | 15±2 | 35 | 35 | 10 | 160 | 411 | 45.7 | 621 | 1152 | 1.0 |

### 2.4 실험방법

그림 2.1~2.2과 같이 인장철근 전단철근을 배치하고 전단철근이 없는 10개의 보에 탄소섬유로 변화을 주어 시편에 붙였다.

그림 2.1 KS1 단면형상 (단위cm)

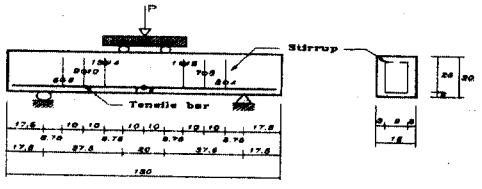
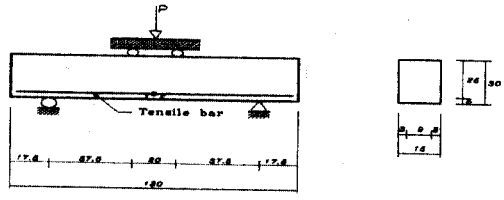



그림 2.2 KI1 단면형상 단위(cm)




## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 공시체 탄소섬유 보강실험

고강도 철근콘크리트의 탄소섬유보강 실험은 어느 문헌에도 없으며 기본적인 공시체의 실험또한 찾아보기 어려움으로 본 연구에서는 보 실험하기 이전에 공시체를 32개를 만들어 7일, 28일, 56일 압축강도를 알아 보았으며 28일 공시체에 표 3.1과 같이 탄소섬유 1/3, 1/2, 1겹, 2겹, 3겹등의 변화를 주어 압축강도를 측정하였으며 표 3.2는 인장강도 측정결과이다.

표 3.1 탄소섬유보강 압축강도 실험결과

| 시리즈별 | 재령7일강도 (kg/㎠) | 재령28일강도(kg/㎠) | | | | | | | | | | 재령56일강도 (kg/㎠) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 무보강 | 탄소섬유보강 | | | | | | | | | |
| | | | 1/3 | 1/2 | 2㎜ 공간 | 0㎜ | 1㎜ 겹침 | 5cm 겹침 | 2겹 | 3겹 | 3겹 | |
| 고강도 콘크리트 | 254 | 355 | 396 | 400 | 381 | 474 | 485 | 617 | 882 | 1002.8 | 885 | 415 |

표 3.2 탄소섬유보강 인장강도 실험결과

| 재령28일강도(kg/㎠) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 무보강 | 탄소섬유보강 | | | | |
| | 상・하5cm | 1/2 | 5cm 겹침 | 2겹 | 3겹 |
| 33 | 396 | 400 | 617 | 882 | 1002.8 |

이와같은 공시체 탄소섬유 보강실험에서 탄소섬유 부착시 재하하중에 응력을 구속하여 탄소섬유를 감싸는 것이 효과 적이며, 공시체에 응력집중이 발생되게 탄소섬유를 부착하면 역효과를 초래 할수있다. 또한 겹이음이 상당히 중요하다는 것을 본 실험에서 알수 있었다. 압축강도 실험시 3겹이상의 탄소섬유을 부착한 공시체는 구속력은 강했으나 콘크리트가 높은하중에 견디기 어려워 폭파부분이 가루가 되음을 알수있었다. 이것은 3겹이상 공시체에 탄소섬유을 부착하면 콘크리트의 압축력이 탄소섬유

가 지탱하는 구속력 보다 작아 응력의 효과가 떨어짐을 알 수 있다.

표 3.2의 인장강도 실험에서 보듯이 공시체에 응력이 집중되게 탄소섬유를 보강하면 무보강 공시체 보다 응력이 떨어짐을 알 수 있었다.

### 3.2 시편파괴 형상

그림 3.1 KS1 균열도

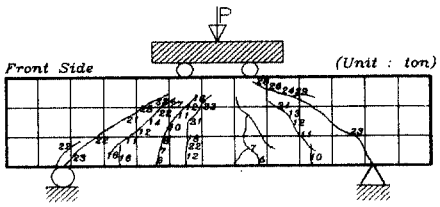
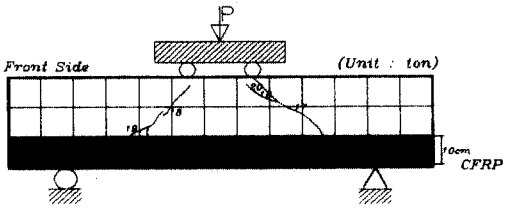



그림 3.2 JC4 균열도




### 3.3 하중 - 처짐, 변형률관계

그림 3.3 하중-처짐관계

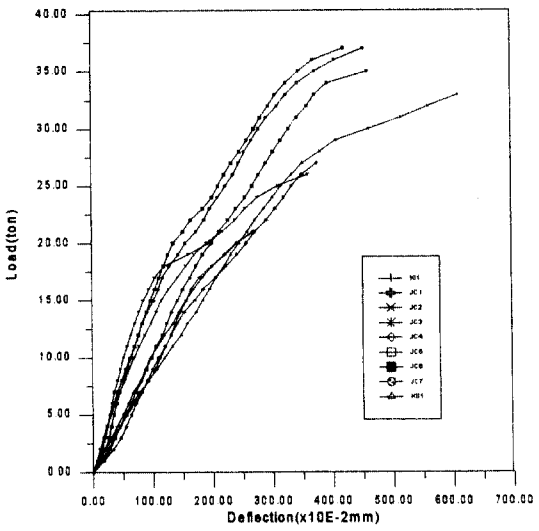
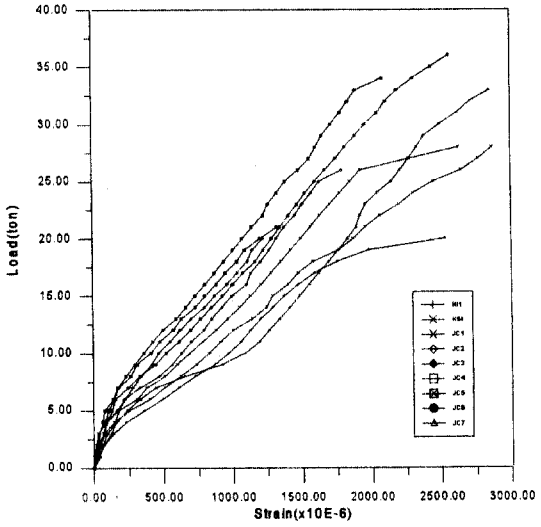



그림 3.4 하중-변형률관계




### 3.3 전단강도와 휨 - 전단응력 관계

각 시편의 전단거동실험에서 초기 휨균열이 발견되었을 때의 하중을 초기 휨균열하중 $P_{fc}$, 초기 전단균열이 발견되었을 때의 하중을 균열전단하중 $P_{dc}$, 최대하중을 받았을 때의 하중을 극한하중 $P_u$라 하여 ACI(American concrete institute) 규준에 의한 계산값과 함께 표 3.3에 나타내었다.

고강도 철근콘크리트 탄소섬유보강 시편의 발생응력을 재하하중 15ton을 기준으로 계산한 결과를 표 3.4에 나타내었다.

표. 3.3 전단강도 비교

| Name of beams | Stirrup spacing (cm) | Test result | | | ACI | $\frac{P_u}{P_{u(KN)}}$ | 파괴형태 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $P_u$ (ton) | $P_{dc}$ (ton) | $P_{fc}$ (ton) | $P_{u'}$ (ton) | | |
| K S 1 | 10 | 33.21 | 11.68 | 5.24 | 17.30 | 1.51 | 압축 파괴 |
| K I 1 | without stirrup | 21.93 | 10.63 | 4.30 | 6.57 | 1.00 | 사인장파괴 |
| J C 1 | without stirrup | 27.98 | 14.50 | 6.30 | - | 1.28 | 사인장파괴 |
| J C 2 | without stirrup | 26.02 | 15.90 | 7.40 | - | 1.19 | 사인장파괴 |
| J C 3 | without stirrup | 20.45 | 17.68 | 10.64 | - | 0.93 | 사인장파괴 |
| J C 4 | without stirrup | 20.93 | 17.32 | 15.00 | - | 0.95 | 사인장파괴 |
| J C 5 | without stirrup | 34.47 | 19.24 | - | - | 1.57 | 사인장파괴 |
| J C 6 | without stirrup | 36.01 | 36.00 | - | - | 1.64 | 사인장파괴 |
| J C 7 | without stirrup | 36.52 | 22.97 | - | - | 1.67 | 사인장파괴 |
| H C 1 | without stirrup | 16.00 | 11.00 | 4.70 | - | - | - |
| | | 22.06 | - | - | - | 1.01 | 사인장파괴 |
| H C 2 | without stirrup | 16.00 | 11.32 | 5.10 | - | | - |
| | | 22.89 | - | - | - | 1.04 | 사인장파괴 |

표. 3.4 전단, 휨응력 및 처짐값

| 활하중 (t) | M (kg · cm) | 시편 | $\sigma$ (kg/cm$^2$) | | | | 처짐 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\varepsilon$ E | $\frac{M}{I_{cr}} y$ | | | 실험값 (mm) | 계산값 (mm) |
| | | | | $\sigma_c$ | $\sigma_s$ | $\sigma_{cf}$ | | |
| 15 | 281300 | KS1 | 2532 | 186.70 | 2331.00 | - | 1.84 | 2.64 |
| | | KI1 | 2501 | | | | 1.56 | |
| | | JC1 | 2301 | 180.15 | 2696.36 | 3163.27 | 1.71 | |
| | | JC2 | 2330 | 174.39 | 1284.58 | 2960.14 | 1.15 | |
| | | JC3 | 1777 | - | | | 0.85 | |
| | | JC4 | 1634 | | | | 1.57 | |
| | | JC5 | 1489 | | | | 1.42 | |
| | | JC6 | 1895 | | | | 0.97 | |
| | | JC7 | 3025 | | | | 1.02 | |
| | | HC1 | 2815 | | | | 1.51 | |
| | | | 3019 | | | | 1.56 | |
| | | HC2 | 2934 | | | | 1.45 | |
| | | | 2189 | | | | 1.54 | |

위와같이 탄소섬유의 시편측면 부착위치 변화에 따른 다양한 처짐, 변형률, 극한하중이 나타냈다.

## 6. 결 론

1. 공시체 실험에서 탄소섬유 부착시 응력이 집중되지 않게 부착하여야 하며 응력이 집중되면 무보강 시편보다 약한 강도에서 파괴가 될수있으며, 탄소섬유의 겹이음이(5㎝이상) 상당히 중요하다는 것을 알수있다. 그리고 공시체를 탄소섬유로 감싼 것이 높은 하중에 견딜수 있으며 1겹 감싼 공시체는 무보강 공시체보다 압축에 1.74배 인장에 2.76배 높았다.
2. 사인장 균열파괴에 의한 시편은 탄소섬유로 밑면의 두께를 높인다 해도 극한하중에 대한 효과가 없었음을 확인 할 수 있었다.(JC1, JC2)
3. 극한하중 순서는 JC7(20㎝, 밑면없음) > JC6(25㎝) > JC5(20㎝) > KS1(전단철근보강) > JC1(1겹) > JC2(2겹) > KI1 > JC4(10㎝) > JC3(5㎝)이다. JC3, JC4 시편가 같이 사인장 균열이 발생하여 인장측 지점과 하중재하점으로 진행하다가 지점부 탄소섬유로 인하여 하중재하점으로 응력이 집중되어 무보강시편보다 낮은 극한강도에서 파괴 되지만, 사인장균열 발생지점 이상높이로 탄소섬유를 보강한 시편은 무보강 시편 보다 높은 극한강도에서 파괴 되었다.(JC5, JC6)
4. 밑면 보강없이 시편높이 20㎝로 탄소섬유를 보강한 보는 밑면이 있는(JC5) 시편과 비슷한 극한하중에서 파괴되었다. 이것은 휨에 대해 인장철근이 하중을 받으므로 전단철근없는 시편에서는 사인장균열을 억제 할 수 있는 탄소섬유 보강만 하면 된다고 볼 수 있다.
5. 균열을 진전시킨 후 에폭시로 보수한 HC1을 다시 하중재하 하여 파괴한 결과 무보강 시편과(KI1)가 파괴양상이 비슷하였다. 하지만 균열에 대한 보수없이 탄소섬유 보강한 시편은(HC2) 무보강 시편과 비슷한 극한하중을 나타내었다.
6. 탄소섬유 부착위치에 따른 처짐값, 변형률은 다양하였다.
7. 본 실험에서 철근보강시편(KS1), 무보강시편(KI1), 밑면 탄소섬유보강시편(JCI, JC2)의 $\sigma_s$에 대한 실험값은 계산값보다 약간 크게 나왔다.

## 참 고 문 헌.


1. 홍영균, 최완철, 홍기섭, 신영수, 김유식, 류해준, "에폭시 접착 강판에서 보강 된 철근콘크리트보의 구조적 거동에 관한 연구", 한국콘크리트 학술발표논문집, 1994. 5. pp 25-29.
2. 신영수, 홍기섭, 최완철, 홍영균, "탄소섬유쉬트로 밑면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적거동" 대한건축학회논문집 11권8호 통권82호, 1995. 8. pp 249-257.
3. 최완철, 연규석, 홍영균, "철근콘크리트 보수보강 재료 및 공법", 한국콘크리트학회지 제7권 6호, 1995. 12.
4. 곽계환, 장기웅, 김종효, "초고강도 철근콘크리트 보의 전단-피로거동과 보수" 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol.1, 1996. 10. pp 229-232.
5. 김재순, 김상대, "철근 콘크리트 구조물의 구조보강을 위한 탄소섬유쉬트의 활용성연구" 대한건축학술발표논문집, 1996. 10. pp 485-490.
6. 심종성 외3명 "강판 밑 CFS로 보강된 R/C보의 피로거동 특성 비교연구" 1997년봄 학술발표회 논문집, pp 527-533..
7. 이리형, 이용택, 김승훈, 강윤구, "탄소섬유쉬트에 의한 콘크리트 보의 휨보강효과에 관한 실험적연구" 한국콘크리트학회 1997년 봄 학술발표회 논문집, pp 605-610.
8. 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.
9. Oan Chul Choi Gi Suop Hong, Young Soo. ShinStrengthening Design for Danmaged Concrete Beams Using Epoxy-Bonded Steel Plate (EBSP). Proceeding of the Fifth East-Pacipic Conference on Structural Engineering and Construction 1995. pp 2041-2046.
10. 宇治 公陸, シート狀 "連續炭素纖維補强材を 用 旣設鐵筋コソクリート 部在の せん斷耐力向上效 果に 觀する 硏究", コソクリート工學年次論文集, 第3券 第 2號, 1992年 7月.
11. 小野定 외3명 "炭素纖維シートにより補强したRCなりのせん斷性狀" コソクリート 工學年次論文報告書, Vol.18, No. 2, pp 1469-1474, 1996.