

# 탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 기둥의 압축성능 평가를 위한 실험연구

## Experimental Study on Compressive Strength of Concrete Column Retrofitted by Carbon FRP Sheet

유 언 종\*      이 경 훈\*\*      김 희 철\*\*\*      이 영 학\*\*\*      홍 원 기\*\*\*  
Yoo, Youn-Jong, Lee, Kyoung-Hun, Kim, Heecheul, Lee, Young-Hak, Hong, Won-Kee

### Abstract

In 1980 and 1990's most of residential buildings were constructed with relatively low strength concrete of 18 MPa. And, columns were designed considering only vertical loads. In this study, compressive strength tests for low strength RC columns retrofitted by carbon fiber sheets were carried out. Carbon fiber sheet provides constructability and high tensile strength as well as good corrosion resistance characteristics. A pair of carbon sheets were wrapped with  $\pm 60^\circ$  angle with respect to longitudinal direction of RC column to increase structural capacity against axial and lateral load simultaneously. Strength and strain patterns and failure modes of specimens were analyzed and prediction equation of increased compressive strength of RC column confined by carbon fiber sheet was proposed based on regression analysis.

### 요 지

국내에서 공동주택이 대량으로 공급되었던 1980~1990년대에는 콘크리트의 설계기준강도가 약 18MPa로 낮았으며 또한 대부분의 기둥은 수직하중만을 고려하여 설계되었다. 본 연구에서는 수명이 오래된 콘크리트 기둥의 성능을 향상시키기 위하여 시공이 간편하고 내식성이 우수하며 인장성능이 매우 뛰어난 탄소섬유시트로 보강된 RC 기둥의 압축강도 성능평가 실험을 수행하였다. 기둥을 구속하는 탄소섬유시트의 wrapping 각도는 수직하중과 수평하중에 저항할 수 있도록 기둥의 재축방향에 대하여  $\pm 60^\circ$  각도로 보강하였다. 실험을 수행한 후 압축강도 및 변형률의 증가양상과 시험체의 파괴양상을 분석하였으며 실험결과의 회귀 분석을 수행하여 향상된 압축강도를 예측할 수 있는 회귀식을 작성하였다.

**Keywords :** Carbon fiber sheet, Confinement effect, Compressive strength test

**핵심 용어 :** 탄소섬유시트, 구속효과, 압축강도실험

\* 경희대학교 건축공학과 대학원 석사과정

\*\* 교신저자, (주)크로스구조연구소장, 공학박사

\*\*\* 경희대학교 건축공학과 교수

E-mail : leekhun@gmail.com 02-569-8254

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2008년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

국내 주택의 공급은 1980년대부터 본격화되기 시작하여 1990년대의 200만호 주택건설을 계기로 전국의 주택보급률은 상당히 개선되었으며 그 중에서 공동주택이 차지하는 비율은 절반을 넘어서고 있다. 80년대 초에 지어진 공동주택은 이미 20년을 넘어 노후화되기 시작하였으나 체계적인 관리가 이루어지지 못하였으며 재건축 등의 기대심리로 유지관리에 많은 문제점을 드러내고 있다.

준공 후 약 20년이 경과된 공동주택의 재건축은 건물의 뼈대역할을 하는 주요구조부재인 기둥, 보, 전단벽 등의 성능이 저하되지 않았음에도 불구하고 사회 전반적인 흐름에 맞추어 큰 저항 없이 시행되어져 왔다. 현재 국내에 건설된 20년 이상 된 공동주택의 구조적 성능은 초기 준공당시에 비하여 저하된 것은 사실이나 건물의 수명에 큰 영향을 줄 만큼은 아닌 것으로 판단된다. 이러한 건물들을 단지 사용연한에 따라 재건축을 할 경우 비용과 환경적인 측면 등에서 국가적, 사회적 손실을 불러올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 탄소섬유시트를 이용하여 건물의 주요구조부재인 기둥의 성능을 향상시키는 실험연구를 수행하여 노후된 공동주택에 새 생명을 불어넣어 건물의 수명을 연장시킬 수 있는 리모델링 공법의 개발에 일조를 하고자 한다.

미국이나 캐나다 등 외국에서는 이미 오래전부터 FRP 소재를 이용한 기둥의 성능향상에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. Saafi(1999)<sup>(2)</sup> 등은 CFRP와 GFRP로 구축된 콘크리트의 성능을 평가하는 연구를 수행하였으며, Matthys(2005)<sup>(3)</sup> 등은 최근에 FRP를 이용한 전체보강, 부분보강 및 나선보강의 세 가지 방법으로 보강된 콘크리트 기둥의 압축강도평가 실험을 수행하여 실험결과를 여러 학자들의 연구결과와 비교하였다. 국내에서는 홍원기와 김희철<sup>(4)</sup>이 탄소섬유를 레진에 함침시킨 후에 몰드에 감아서 튜브를 제작하는 필라멘트 와인딩공법으로 제작된 원형 및 각형 탄소섬유튜브로 구축된 콘크리트 기둥의 압축강도 실험을 수행하여 기둥의 재축방향에 대하여  $\pm 30^\circ \sim$

$\pm 60^\circ$  사이의 각도로 와인딩 한 경우의 응력을 예측할 수 있는 실험식을 발표하였다. 이경훈<sup>(1)</sup> 등은 탄소섬유시트로 제작된 원형튜브로 구축된 콘크리트의 압축강도 실험을 수행하여 기둥의 재축방향에 대하여  $0^\circ \sim 90^\circ$ 사이의 각도로 제작된 부재의 압축강도를 예측할 수 있는 실험식을 제안하였다. 두 연구는 모두 full scale 기둥의 반복 횡 하중 실험을 병행하여 구속압에 의한 압축응력과 휨응력의 성능평가를 수행하였다. 본 연구는 강도가 저하된 기둥을 탄소섬유시트로 보강한 기둥의 축하중 성능실험을 수행한 연구로써, 시트의 wrapping 각도를  $\pm 60^\circ$ 로 결정하였는데 첫 번째 이유는 홍원기와 김희철<sup>(4)</sup>의 연구에 의하면  $\pm 60^\circ$ 로 와인딩 된 기둥의 압축성능이 가장 우수하게 나타난 것이며 두 번째 이유는 병행된 full scale 기둥의 반복 횡 하중 실험에 적용된 탄소섬유시트의 wrapping 각도와 동일성을 갖게 하기 위함이다.

## 2. 실험연구

탄소섬유의 와인딩공법으로 제작된 탄소섬유튜브로 구축된 콘크리트의 압축강도 실험을 수행한 홍원기와 김희철<sup>(4)</sup>은 다양한 와인딩각도로 제작된 탄소섬유튜브로 시험체를 제작하였다. 그 결과 Fig. 1과 같이 기둥의 재축방향에 대하여  $\pm 60^\circ$ 의 각도로 휘구축된 경우 그 성능이 가장 우수하다는 결론을 도출하였다. 또한 전술한바와 같이 full scale 시험체의 휨성능 향상을 위하여 채택된 각도의 변수와 동일성을 갖게 하기 위하여 본 연구에서는  $\pm 60^\circ$ 의 각도로 탄소섬유시트를 감아 콘크리트 기둥 시험체를 제작하였다. Fig. 1을

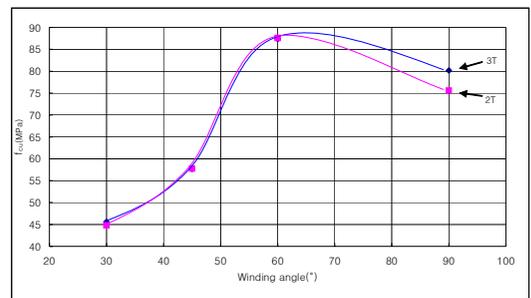


Fig. 1 CFCT 기둥의 각도별 응력

살펴보면 탄소섬유튜브의 두께는 각도의 변수에 비하여 강도의 향상에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단되며 2장의 탄소섬유시트로 보강된 경우에도 상당한 성능향상이 나타나고 있으며 3장으로 보강한 경우와 큰 차이가 나타나지 않았으므로 탄소섬유시트의 보강장수는 2장으로 결정하였다. 단, 기둥을 감는 탄소섬유시트의 겹침 폭을 2cm와 6cm로 차별을 두었으며 조기에 탄소섬유시트 겹침부의 파괴로 인하여 강도가 저하됨을 방지하고 시험체가 파괴에 도달할 때까지 탄소섬유시트 겹침부의 파괴가 발생하지 않는지 여부를 측정하기 위하여 일부 시험체의 탄소섬유시트 단부에 앵커(anchorage)를 설치하였다.

일반적으로 횡구속에 의한 성능향상은 원형단면을 갖는 기둥의 경우에 더 효과적이지만 기존에 축조된 대부분의 건물의 기둥이 각형단면이므로 본 연구에서는 직경이 300mm인 원형기둥과 한 변이 250mm인 정방형기둥의 두 가지 형태의 시험체를 제작하였으며 시험체의 높이는 600mm이다.

Fig. 2는 탄소섬유시트의 wrapping 보강을 나타내는 그림으로써 탄소섬유시트의 각도와 겹침 폭 및 앵커의 위치 등을 나타내며, Fig. 3은 각 시험체의 철근배근 상황을 나타내는 그림이다. 주근은 8-D13으로 배근되었으며 원형기둥의 철근비는 1.4%, 각형기둥의 철근비는 1.6%이다. 띠철근은 D10철근이 사용되었으며 간격은 200mm로 배근되었다. 각형기둥의 경우에는 모서리부분의 보강이 용이하지 않아 Fig. 4와 같이 R-30mm의 모따기를 실시한 후 시트보강을 수행하였다.

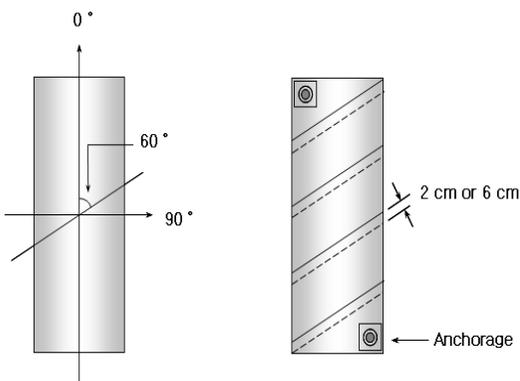


Fig. 2 배치각도, 겹침 폭 및 앵커 위치

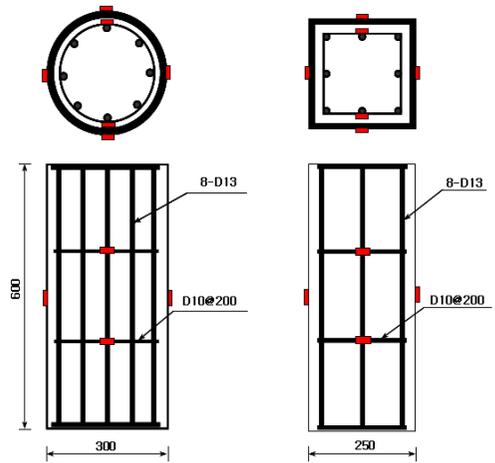


Fig. 3 철근배근 및 게이지 계획



(a) 모따기 전 (b) 모따기 후

Fig. 4 각형시험체의 모따기

탄소섬유시트의 wrapping을 위하여 Fig. 5(a)와 같이 미리 탄소섬유시트를 제단하고 Fig. 5(b)에서처럼 보강을 진행하여 Fig. 5(c),(d)와 같이 시험체를 제작하였다. 이상과 같은 방법으로 제작된 시험체는 모두 8개이며 성능을 비교하기 위하여 구속되지 않은 원형 및 각형 시험체를 각각 3개씩 제작하였다. 단, 모든 시험체의 제작에 사용된 콘크리트는 건물의 노후 및 기타의 조건으로 인하여 성능이 저하되었음을 가정하여 강도가 낮은 콘크리트를 사용하였으며 각 시험체의 개요는 Table 1과 같다. 시험체 명칭 중 첫 번째 영문 C는 원형기둥(circular column)을, S는 각형기둥(square column)을 나타내며, 숫자 2와 6은 시트의 겹침 폭을, 영문 A는 탄소섬유시트 겹침부의 파괴방지를 위한 앵커(anchorage)가 설치된 시험체를 의미한다.



Fig. 5 시험체 보강 공정

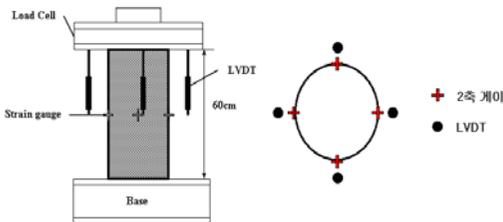


Fig. 6 LVDT 및 게이지 설치도

하중은 10,000kN 용량의 UTM(Universal Test Machine)을 이용하여 0.05mm/sec의 속도로 가력하였으며, 데이터는 50개의 채널을 보유하고 있는 UCAM-500A를 사용하여 수집하였다. 콘크리트를 구속하고 있는 탄소섬유시트의 표면에는 Fig. 6과 같이 시험체의 중간에 수직 및 수평방향의 변형률을 측정할 수 있는 2축 게이지를 4군데에 설치하였으며, 시험체

의 축방향 변위를 측정하기 위하여 4개의 LVDT를 설치하였다.

### 3. 실험결과

Fig. 7은 탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 시험체의 응력-변형률 곡선이다. 그래프의 오른쪽은 응력과 축방향 변형률을, 왼쪽은 응력과 횡방향 변형률을 나타낸다. 본 실험에서는 강도가 낮은 콘크리트를 사용하여 시험체를 제작하였으므로 보강되지 않은 비교용 시험체의 강도는 원형의 경우 9.69MPa, 각형은 6.75MPa이다. 단면형상에 따른 거동특성을 살펴보면, 각형시험체의 경우 일정응력에 도달한 후에 더 이상 응력은 증가되지 않고 변형률만 증가하는 현상이 뚜렷하게 나타난 반면, 원형시험체의 경우에는 항복 후에도 일정 기울기로 응력이 완만하게 증가하면서 변형률 또한 증가하여 각형에 비하여 월등히 우수한 구속효과가 보유하고 있음이 입증되었다. 탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 기둥의 극한압축응력  $f_{cu}$ , 축방향 변형률이 콘크리트의 극한응력 시 변형률인 0.003에 해당되는 압축응력  $f_{0.003}$ 을 비롯하여, 시험체의 축방향 및 횡방향 변형률  $\epsilon_{cu}$ 와  $\epsilon_{ru}$  등의 실험결과는 Table 2와 같다.

원형시험체의 극한응력은 보강되지 않은 시험체의 극한응력보다 약 1.9~2.4배 가량 증가되었으며 각형 시험체의 극한응력은 약 1.6~1.9배 가량 증가되었다. 또한 축방향 극한변형률은 순수 콘크리트의 최대강도시 변형률인 0.002에 비하여 원형은 최대 15.5배, 각형은 11.0배 증가되었음을 알 수 있었다.

Table 1 시험체의 개요

| 시험체  | 형상 | 철근비(%) | 탄소섬유시트 보강비( $\rho_f$ ) | 탄소섬유시트의 두께(mm) | 탄소섬유시트의 시공두께(mm) | 앵커 |
|------|----|--------|------------------------|----------------|------------------|----|
| C-2  | 원형 | 1.4    | 0.0045                 | 0.334          | 0.8              | X  |
| C-2A |    |        |                        |                |                  | O  |
| C-6  |    |        |                        | 1.002          | 2.4              | X  |
| C-6A |    |        |                        |                |                  | O  |
| S-2  | 각형 | 1.6    | 0.0054                 | 0.334          | 0.8              | X  |
| S-2A |    |        |                        |                |                  | O  |
| S-6  |    |        |                        | 1.002          | 2.4              | X  |
| S-6A |    |        |                        |                |                  | O  |

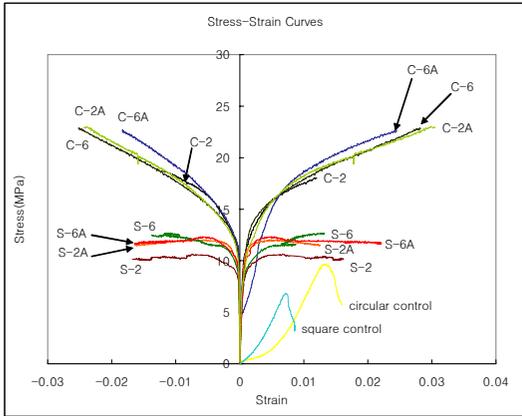


Fig. 7 시험체의 응력-변형률 곡선

시험체의 변형률이 콘크리트의 극한변형률인 0.003에 도달하는 순간의 압축응력을 살펴보면, 원형시험체의 경우 약 14MPa, 각형시험체의 경우 약 11MPa의 응력이 발생하여 구속되지 않은 콘크리트에 비하여 원형의 경우 20~50%, 각형의 경우 50~80% 정도 응력이 향상됨을 알 수 있었다. 이러한 증가율은 극한응력과는 달리 실제로 탄소섬유시트를 이용하여 기둥을 보강하는 경우 설계에 적용할 수 있는 값이다.

전체 실험결과를 살펴보면, 탄소섬유시트의 보강비  $\rho_f = 0.0045$ 인 2장의 시트로 보강된 경우와  $\rho_f = 0.0054$ 인 6장의 시트로 보강된 결과가 큰 차이를 나타내지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서 보강에

따른 재료비용과 시공비용 및 성능 등을 고려해 보았을 때 탄소섬유시트의 보강비율이  $\rho_f = 0.0045$  정도인 2장의 탄소섬유시트로 보강을 수행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 또한 모든 시험체에서 탄소섬유시트 겹침부의 파괴현상이 발생되지 않아 탄소섬유시트의 겹침은 매우 양호하게 시공되었음을 알 수 있었으며, 따라서 탄소섬유시트의 단부에 앵커의 설치 불필요한 것으로 판단된다. 단, 탄소섬유시트를 이용하여 기둥의 보강공사를 수행하는 경우에는 반드시 능숙한 숙련공만이 시공을 수행하여야 한다.

Fig. 8과 Fig. 9은 보강되지 않은 시험체로 원형 및 각형 시험체를 표준화(Normalized)한 응력-변형률을 나타낸 곡선으로써 응력 및 변형률의 향상정도를 정량적으로 평가할 수 있는 그래프이다.

원형기둥의 파괴양상을 나타낸 Fig. 10(a)를 살펴보면, 균열이 발생하기 시작 할 때에 시트를 구성하고 있는 탄소섬유가 끊어지는 파열음이 지속적으로 발생되다가 기둥의 하부에서 상부에 이르기까지 전체적인 균열이 발생하면서 시험체가 파괴되었다. 이는 RC 시험체가 탄소섬유시트에 의해서 매우 효과적으로 구속이 되었음을 나타내는 균열양상이라 할 수 있다. 반면 Fig. 10(b)의 각형기둥의 파괴양상을 살펴보면, 구속효과가 뛰어나지 않은 사각형 기둥의 앞이나 옆면에서 국부적인 균열이 발생하였으며 이에 따라 하중에 대한 저항능이 감소되어 최종적인 파괴양상에 도달하여 기둥전체를 효과적으로 구속하지 못하였음을 알 수 있었다.

Table 2 실험결과

| 시험체   | $f_{co}$ (MPa) | $f_{cu}$ (MPa) | $f_{0.003}$ (MPa) | $\epsilon_{cu}$ | $\epsilon_{ru}$ | $f_{cu}/f_{co}$ | $f_{0.003}/f_{co}$ |
|-------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| C-2   | -              | 18.06          | 14.11             | 0.012           | 0.012           | 1.86            | 1.46               |
| C-2A  | -              | 22.92          | 13.66             | 0.031           | 0.024           | 2.36            | 1.41               |
| C-6   | -              | 22.80          | 14.65             | 0.028           | 0.025           | 2.35            | 1.51               |
| C-6A  | -              | 22.54          | 11.75             | 0.025           | 0.018           | 2.33            | 1.21               |
| S-2   | -              | 10.54          | 10.18             | 0.016           | 0.018           | 1.56            | 1.51               |
| S-2A  | -              | 12.04          | 11.86             | 0.013           | 0.016           | 1.73            | 1.76               |
| S-6   | -              | 12.64          | 10.79             | 0.013           | 0.014           | 1.87            | 1.60               |
| S-6A  | -              | 12.27          | 12.07             | 0.022           | 0.017           | 1.82            | 1.79               |
| Con-C | 9.69           | -              | -                 | -               | -               | -               | -                  |
| Con-S | 6.75           | -              | -                 | -               | -               | -               | -                  |

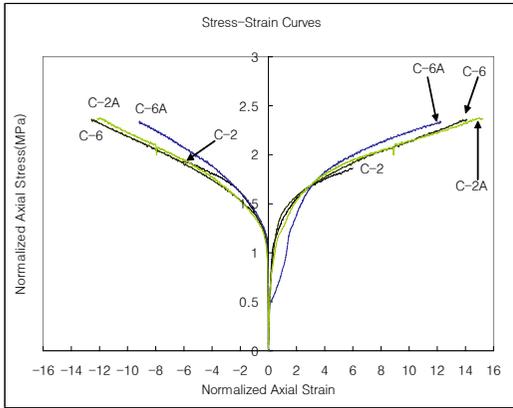


Fig. 8 표준화된 원형기둥의 거동곡선

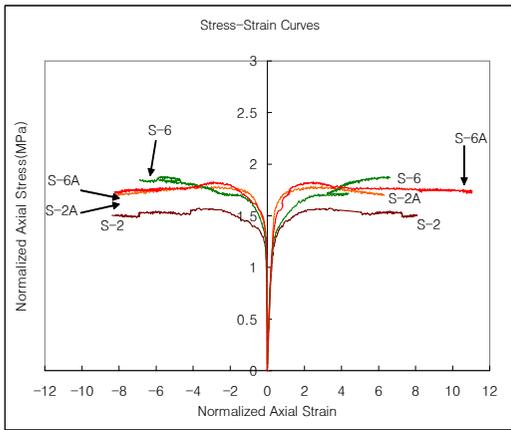


Fig. 9 표준화된 각형기둥의 거동곡선



(a) C2-A (b) S2-A

Fig. 10 시험체의 파괴양상

#### 4. 실험식 제안

횡 구속된 콘크리트의 압축강도 식은 Richart 등에 의해서 제안된 식(1)이 많은 연구에서 사용되고 있다.

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l \quad (1)$$

식(1)에서  $f'_{cc}$ 는 구속된 콘크리트의 압축강도를,  $f'_{co}$ 는 구속되지 않은 콘크리트의 압축강도를,  $k_1$ 은 구속압계수를,  $f_l$ 은 구속에 의한 횡구속압을 나타내며 횡구속압은 식(2)와 같다.

$$f_l = K_e \frac{2t_f}{D} f_f = K_e \frac{2t_f}{D} E_f \epsilon_l \quad (2)$$

식(2)에서  $D$ 는 원형단면의 경우에는 직경을, 정방형 단면의 경우에는 한 변의 길이를 나타내며,  $t_f$ 는 보강된 탄소섬유시트의 두께를,  $E_f$ 는 탄소섬유시트의 탄성계수를 나타내며  $\epsilon_l$ 은 구속된 탄소섬유시트의 횡변형률을 나타내는 계수이다. 또한 유효횡구속압계수  $K_e$ 의 값은 원형의 경우 1이지만 각형의 경우에는 Fig. 11의 전단면적에 대한 빗금친 부분을 제외한 면적비를 나타내는 값으로써 식(3)과 같다.

$$K_e = \frac{1}{3} + \frac{8r}{3D} \left(1 - \frac{r}{D}\right) \quad (3)$$

홍원기와 김희철<sup>(4)</sup>은 와인딩공법으로 제작된 탄소섬유튜브로 구속된 원형콘크리트 기둥의 압축강도 평가식

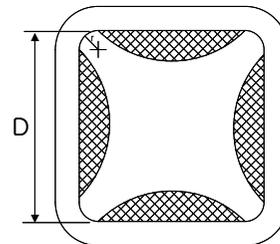


Fig. 11 사각단면의 구속압

험을 수행한 후에 회귀분석을 통하여 식(4)~식(5)와 같이 구속된 콘크리트의 강도를 예측하는 실험식을 제안하였다.

$$\text{원형 } f'_{cc} = f'_{co} \left\{ 1 + 3.34 \theta^{0.83} \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} \quad (4)$$

$$\text{각형 } f'_{cc} = f'_{co} + 1.15 f_l \quad (5)$$

이경훈 등<sup>(1)</sup>은 탄소섬유시트를 이용하여 원형튜브를 제작한 후 콘크리트를 타설하는 공법으로 제작된 기둥의 강도실험을 수행하여 탄소섬유시트튜브로 구속된 콘크리트의 압축강도를 예측하는 실험식을 식(6)~식(7)과 같이 제안하였다. 탄소섬유시트를 이용하면 홍원기와 김희철<sup>(4)</sup>이 연구를 수행한 탄소섬유 와인딩공법으로는 제작이 불가능한 0°~30° 기울이게 대한 튜브를 제작할 수 있는 장점이 있다.

$$0^\circ \quad f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 0.66 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{0.30} \right] \quad (6)$$

30°~90°

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 1.26 \theta^{0.49} \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{0.30} \right] \quad (7)$$

Toutanji 등은 FRP 시트로 구속된 콘크리트의 실험결과를 이용하여 회귀분석을 수행한 후 식(8)과 같은 예측식을 제안하였다.

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 3.5 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{0.85} \right] \quad (8)$$

여기서,  $f_l$ 은 앞의 식(2)와 같으며, FRP 튜브의 횡변형률( $\epsilon_l$ )과 축변형률( $\epsilon_f$ ) 사이의 상관계수  $\beta = \epsilon_l / \epsilon_f = 0.6$ , 을 이용하여 다음 식(9)와 같이 변형된 실험식을 제안하였다.

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 2.3 \left( \frac{f'_l}{f'_{co}} \right)^{0.85} \right] \quad (9)$$

$$f'_l = \frac{2t_f}{D} E_f \epsilon_f, \quad (\epsilon_f = \epsilon_l / \beta = \epsilon_l / 0.6) \quad (10)$$

본 연구에서는 탄소섬유시트를 이용하여 기둥의 재

축방향과 ±60° 방향으로 보강된 원형 및 각형기둥의 탄소섬유시트 장수에 따른 강도식을 비선형 회귀분석을 수행하여 식(11)~식(12)와 같이 마련하였다.

$$\text{원형 } f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 0.95 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{0.5} \right] \quad (11)$$

$$\text{각형 } f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 0.69 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right) \right] \quad (12)$$

Fig. 12와 Fig. 13은 본 연구에서 제안한 회귀식과 실험결과 및 기존 식들에 의한 응력-변형도 곡선을 나타낸 그래프이다. 원형기둥의 거동을 비교한 Fig. 12를 살펴보면 기존의 실험식 중 홍원기와 Toutanji가 제안한 예측값은 다른 그래프에 비하여 매우 높게 예측되었음을 알 수 있다. 이는 실험결과와 매우 상이한 양상을 나타내고 있어 본 연구에서 가정한 저강도 콘크리트의 보강을 위한 식으로는 적합하지 않을 것으로 판단된다. 반면 본 실험에서 사용된 재료와 동일한 재료인 탄소섬유시트로 제작된 시험체의 실험결과를 분석한 이경훈 등<sup>(1)</sup>의 실험식은 필라멘트 와인딩 공법으로 제작된 홍원기와 김희철<sup>(4)</sup>의 제안식보다 근사하게 추정하고 있으나 여전히 실험결과보다 다소 높은 강도 값을 예측하고 있어 적합하지 않다. 이러한 양상은 각형 시험체의 거동을 나타내는 Fig. 13에서도 나타나고 있음을 알 수 있다. 반면 식(11)과 식(12)를 이용한 응력-변형률 곡선은 두 경우 모두 실험결과보다 예측 강도를 낮게 추정하고 있어 강도가 저하된 콘크리트 기둥을 탄소섬유시트로 보강하는 경우에 안전하게 적용할 수 있는 식이라 할 수 있다.

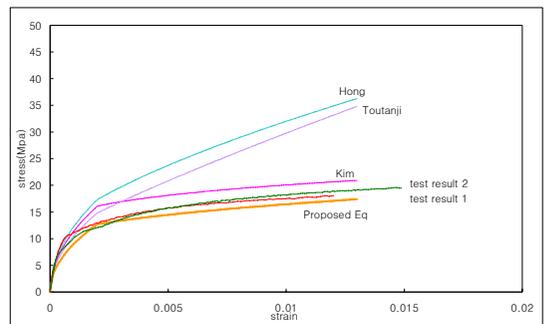


Fig. 12 제안된 식의 비교-원형기둥

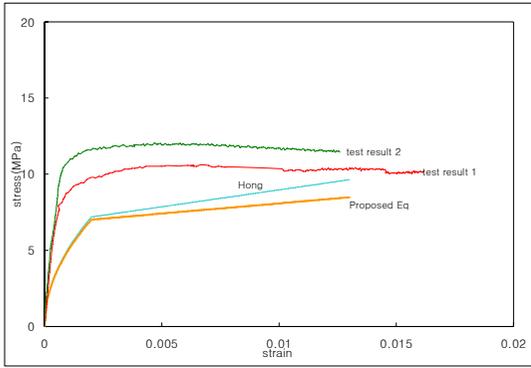


Fig. 13 제안된 식의 비교-원형기둥

## 5. 결론

본 연구에서는 노후로 인하여 강도가 저하된 공동주택의 콘크리트 기둥을 탄소섬유시트로 보강하여 기존 건물의 수명을 연장시키는 리모델링공법개발을 위한 연구의 일환으로 낮은 강도로 제작된 원형 및 각형 철근 콘크리트 기둥을 제작한 후 탄소섬유시트로 보강하여 강도를 측정하는 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 원형기둥의 경우 보강된 시험체의 극한응력은 최고 2.4배, 극한변형률은 15.5배 가량 증가되었으며, 각형기둥의 경우 보강된 시험체의 극한응력은 약 1.9배, 극한변형률은 11.0배 가량 증가되었다.
- 2) 강도가 저하된 콘크리트 기둥을 탄소섬유시트로 보강하여 실험을 수행한 결과 원형기둥의 경우 최대 50%, 각형기둥의 경우 최대 80%정도 응력이 향상되었다.
- 3) 각 시험체의 파괴양상을 살펴본 결과, 각형시험체는 구속효과가 크게 나타나지 않음에 따라 국부적인 균열이 발생하는 파괴양상이 나타난 반면, 원형시험체의 경우에는 시트의 wrapping 각도를 따라 기둥의 상부에서 하부까지 고른 균열이 발생하는 파괴양상이 나타나 탄소섬유시트를 이용한 기둥의 구속이 매우 효과적이었음을 알 수 있었다.
- 4) 각 시험체의 실험결과를 이용하여 비선형 회귀분석을 수행한 후 원형 및 각형 철근콘크리트 기둥의 보강에

적용할 수 있는 실험식을 다음과 같이 제안하였다.

$$\text{원형 } f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 0.95 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{0.5} \right]$$

$$\text{각형 } f'_{cc} = f'_{co} \left[ 1 + 0.69 \left( \frac{f_l}{f'_{co}} \right) \right]$$

아울러, 저자들은 본 논문에서 언급한 압축강도 시험체 외에 약 3m 높이의 full-scale 시험체를 제작하여 축하중을 재하하면서 반복 횡하중을 가력하는 실험 역시 수행하였다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로, 원형 및 각형 기둥의 반복 횡하중 가력 실험결과를 추후 연구 주제로 다루어 탄소섬유시트로 보강된 저강도 콘크리트 기둥의 축하중 및 횡하중에 대한 구조적 성능을 평가할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 [2단계 BK21] 사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 이경훈, 김희철, 홍원기, “카본시트튜브로 구축된 압축재의 성능평가”, 한국구조물진단학회지 제10권 제3호 2006. 5, pp. 152-158.
2. Mohamed Saafi, H. Toutanji, and Zongjin, “Behavior of Concrete Columns Confined with Fiber Reinforced Polymer Tubes”, ACI Materials Journal, Vol. 97, No. 4, July-August 1999, pp. 500-509.
3. S. Matthys, H. Toutanji, K. Audenaert, and L. Taerwe, “Axial Load Behavior of Large-Scale Columns Confined with Fiber-Reinforced Polymer Composites”, ACI Structural Journal, Vol. 102, No. 2, March-April 2005, pp. 258-267.
4. Won-Kee Hong and Hee-Cheul Kim, “Behavior of Concrete Columns Confined by Carbon Composite Tubes”, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 31(2), 2004, pp. 178-188.

(접수일자 : 2007년 5월 14일)