



## 고장력 인장봉으로 보강된 RC보의 휨거동에 관한 실험적 연구(1)

신경재<sup>1)</sup> · 곽명근<sup>2)\*</sup> · 허병욱<sup>2)</sup> · 나정민<sup>3)</sup> · 오영석<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>경북대학교 건축학부, <sup>2)</sup>한국건설기술연구원 건축연구부, <sup>3)</sup>상영엔지니어링(주), <sup>4)</sup>대전대학교 건축공학과

## An Experimental Study on the Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with High-Strength Bars(1)

Kyung-Jae Shin<sup>1)</sup>, Myong-Keun Kwak<sup>2)\*</sup>, Byung-Wook Heo<sup>2)</sup>, Jung-Min Na<sup>3)</sup>, and Young-Suk Oh<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2)</sup>Building Research Dept., KICT, Goyang 411-410, Korea

<sup>3)</sup>Sang Young Engineering Co., LTD., Seoul 138-190, Korea

<sup>4)</sup>Dept. of Architectural Engineering Taejeon Univ., Taejeon 300-716, Korea

**ABSTRACT** This paper outlines a new strengthening technique for concrete beams using externally unbonded high-strength bars. The advantages of proposed method lie in speed and simplicity of construction compared to the alternative strengthening method. Externally unbonded reinforcement retains many of the advantages over external unbonded prestressed tendons. It eliminates time consuming stressing operations. Clearance requirements around anchorages are reduced as access is not required for prestressing jacks. Test results of eight specimens on reinforced concrete beams using different reinforcement materials such as carbon fiber sheet, steel plate and high-tension bar are reported. The beam strengthened by carbon fiber sheet showed a brittle failure mode due to the separation of fiber. As a result of draped profile of external bar, the maximum strength of the beam were increased by up to 212 percent and the deflections were reduced by up to 65 percent. Test results show that the beams reinforced with high-tension bar are superior to reference specimens, especially for the strength and deformation capacity.

**Keywords** high-tension bar, reinforcing, prestress, post tension, unbonded

### 1. 서 론

국내에서는 삼풍백화점, 성수대교 등 대형 구조물의 갑작스런 붕괴 등을 계기로 기존 구조물의 안전성 확보, 수명 연장 및 자원의 재활용에 대한 관심이 크게 증대하고 있으며, 이와 관련하여 구조물의 보수·공사 관련 산업도 비약적인 발전을 이룩하였다. 특히, 탄소섬유슈트르 대표되는 부착공법은 경제성 및 시공의 편리성으로 인해 현재 대부분의 보강공법에 적용되고 있다. 하지만, 탄소섬유슈트 등의 부착보강공법은 부착의 신뢰성과 섬유슈트의 박리에 따른 취성파괴, 처짐이 발생한 구조물의 처짐 회복의 어려움 등의 단점이 있다.

최근 들어, 이러한 기존 공법의 단점을 보완하기 위해서, 부재의 강도저하에 의한 보강차원을 넘어 이미 발생된 부재의 변형을 회복하게 하는 외부 포스트텐션보강 공법이 여러 분야에서 시도되고 있다. 포스트텐션 공법은 다른 보수보강공법에 비해서 보다 적극적인 보강 방법이

며, 보강효과가 확실하고 신뢰성이 높으며 처짐을 쉽게 복원하면서 연성파괴를 유도할 수 있는 장점이 있는 것으로 확인되면서 사용이 확대되고 있다. 그러나 본 보강 방법에서 가장 중요한 정착부의 검증 없이 사용되는 경향이 있다.

따라서 본 연구에서는 긴장기 설치를 위한 별도 공간이 필요없고 정착력 손실 등의 영향이 없으며 재긴장이 용이하고 유지관리가 쉬운 외부 강봉보강 실험체의 휨거동특성을 실험을 통하여 확인하였다. 기존의 보강공법인 탄소섬유슈트 및 강판보강 실험체의 그것과 비교를 통해서 검토하고자 한다.

### 2. 실험 계획

#### 2.1 재료시험

##### 2.1.1 강재의 인장강도 시험

본 연구에 사용된 강재의 역학적 성능을 파악하기 위하여 인장시험편을 KS규격(B 0801의 금속재료 인장시험편)에 따라 제작하였다.

\*Corresponding author E-mail : mkkwak@kict.re.kr  
Received November 7, 2005, Accepted May 31, 2006  
(c)2006 by Korea Concrete Institute

시험은 2000 kN 용량의 유압식 만능시험기(U.T.M.)를 사용하여 KS규격(B 0802의 금속재료 인장시험편 시험방법)에 따라 실시하였고, 각 시험편의 항복점, 인장강도 및 항복비 등에 대한 시험 결과는 Table 1과 같다.

### 2.1.2 탄소섬유쉬트 인장강도 시험

실험체 제작에 사용된 탄소섬유쉬트는 국내 A사에서 생산되는 단위중량  $1.96 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ 인 탄소섬유쉬트로서 공칭두께 0.11 mm를 3겹으로 사용하였다. 탄소섬유쉬트의 인장강도 시험 결과는 Table 2와 같다.

### 2.1.3 콘크리트의 압축강도 시험

시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 23.5 MPa로 계획하였으며, 사용된 레미콘의 수에 따라 각각 3개씩 총 12개의 공시체를 제작하였다. KS F 2403에 따라 제작한 공시체의 콘크리트 압축강도 시험결과와 평균값은 Table 3과 같다.

## 2.2 실험체 계획

고장력 인장봉에 긴장력을 도입하여 외부를 휨 보강한 철근콘크리트 보의 하중에 따른 휨거동 특성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 순경간 600 cm의 실험대형 실험체를 각 변수별로 계획하여 단순지지보의 휨성능 실험을 수행하였다. 실험체의 각 변수별 일람은 Table 4와 같고 보강을 위한 표준 RC보 실험체는 Fig. 1과 같이 폭 40 cm, 총 60 cm로서 보강철근은 압축주철근으로 D19, 인장주철근으로 D22철근을 각각 사용하였다. 또한 휨과괴 이전에 전단파괴가 선행하는 것을 방지하기 위하여 D10의 전단철근을 100 mm 간격으로 배치하였다.

Table 1 Mechanical properties of steel materials

Type	Section (mm)	Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elo. (%)	Yield ratio (%)
Re-bar	D19	405.5	619.4	21	65
	D22	443.1	605.2	20	73
Hi-bar	φ18	588.4	739.8	15	79
	φ22	623.4	746.6	17	83
	φ28	541.2	686.8	14	78
Plate	3	352.3	477.9	38	60
	6	341.4	460.6	33	80

Table 2 Test result of CFRP sheet

Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Ultimate strain ( $\times 10^{-6}$ )
4741.6	238.1	18,450

Table 3 Test result of concrete

Design strength (MPa)	Compressive Strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Slump (cm)
23.5	31.2	17.7	12

Table 4 Details of specimens

Specimens	Reinforcement material	Strengthened type	Depth (dp)	Stud type
RC01	-	-	-	-
CF01	CFS	Soffit	-	-
SP01	PL300×3	Soffit	-	HSA10 @300
SP02	PL300×6	Soffit	-	HSA10 @300
SP02R	PL300×6	Soffit	-	HST M16 @200
T18U-H-P	φ18	U-shape	High (88 cm)	-
T22U-H-P	φ22			-
T28U-H-P	φ28			-

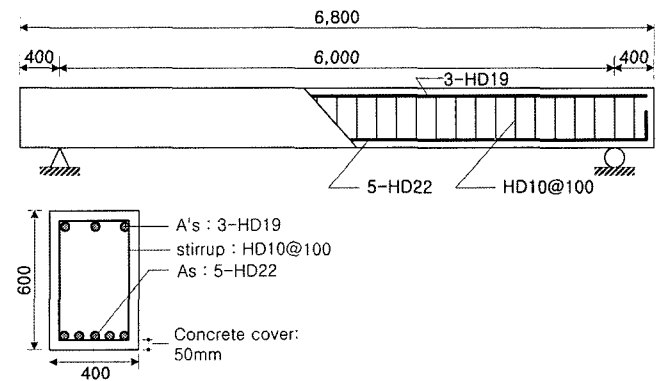
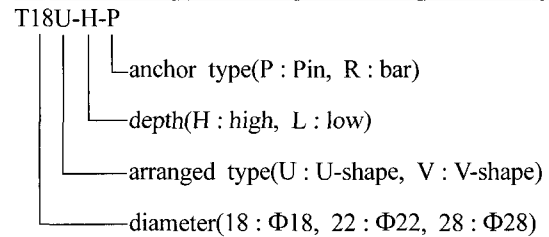


Fig. 1 Dimension of specimen (RC01)

고장력 인장봉 보강 실험체의 비교를 위해서 탄소섬유쉬트보강 실험체(2개), 강판보강 실험체(2개)를 함께 제작하여 보강방법에 따른 휨성능을 비교 평가 하였다.

### 2.2.1 탄소섬유쉬트, 강판 보강 실험체

탄소섬유쉬트(CFS) 보강 실험체는 Fig. 2와 같이 밀면보강 형식의 실험체로 각각 계획하였다. 밀면보강에 사용된 탄소섬유쉬트는 폭 300 mm, 길이 5,400 mm이며, 탄소섬유쉬트 2매를 사용하여 보강하였다.

강판보강 실험체의 경우, 강판의 두께는 3 mm, 6 mm 및 6 mm를 각각 사용하였으며 탄소섬유쉬트 보강 실험체와 동일한 크기로 제작하였다. 또한, Fig. 3(a), (b)에서 SP01 및 SP02 실험체의 강판접착에 사용된 앵커 54,400볼트는 HSA10을 간격 300 mm로 배치하였고, Fig. 3(c)의 SP02R 실험체의 경우, HST M16 볼트를 간격 200로 배치하여 보강하였다.

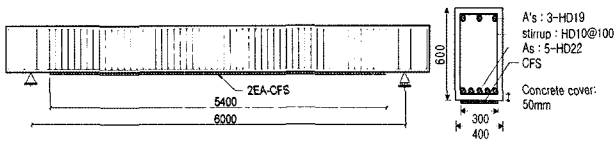
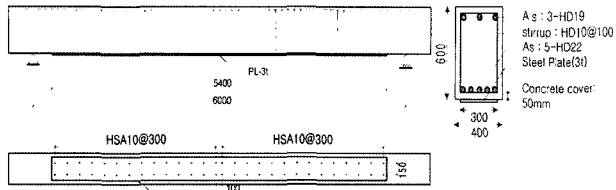
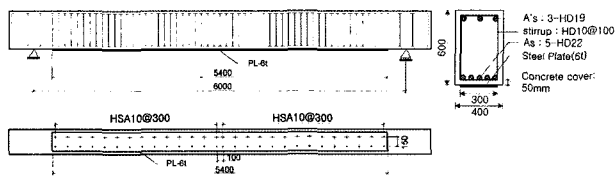


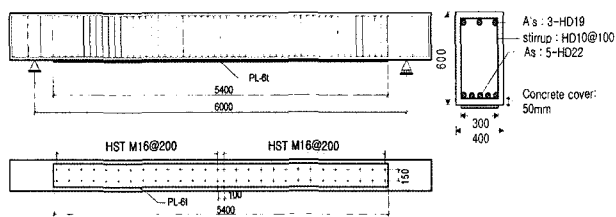
Fig. 2 Dimension of specimen(CF01)



(a) SP01



(b) SP02



(c) SP02R

Fig. 3 Dimension of specimen

### 2.2.2 강봉보강 실험체

강봉보강 실험체는 고장력 강봉, 정착핀, 새들의 3부분으로 구성된다. 고장력 강봉은 S사에서 생산되는 제품으로, 지름이  $\Phi 18$  ( $A_{sb} = 2.63 \text{ cm}^2$ ),  $\Phi 22$  ( $A_{sb} = 3.80 \text{ cm}^2$ ) 및  $\Phi 28$  ( $A_{sb} = 5.93 \text{ cm}^2$ )인 3종류를 사용하였으며, 제품의 구성은 Fig. 4와 같다. 고장력 강봉의 실험체 정착부는 실험체의

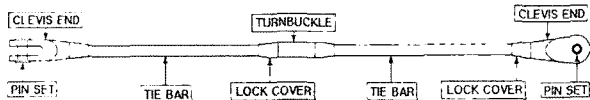
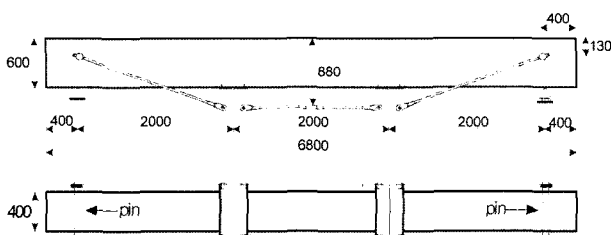
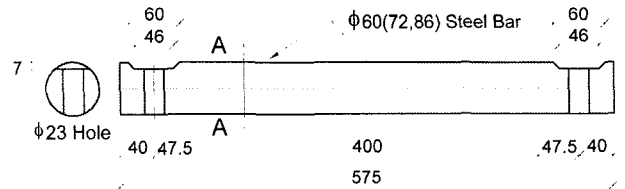


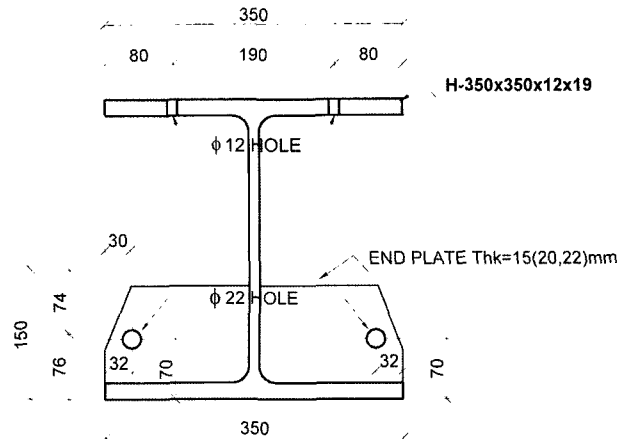
Fig. 4 High tension bar sets



(a) Dimension of specimen (U-H-P)



(b) Detail of pin



(c) Detail of saddle

Fig. 5 specimen(U-H-P) (a~c)

단부로부터 400 mm, 압축연단에서 130 mm 위치에 구멍을 뚫어 Fig. 5(b)와 같은 규격을 가지는 정착핀을 관통시켜 고정하였다. 또한 하부 고정용 새들은 Fig. 5(c)와 같이 H형강을 사용하여 강봉을 연결시킬 수 있도록 계획하였다.

### 2.3 가력 및 측정 방법

실험은 한국건설기술연구원의 구조실험동에서 실시하였다. 가력장치는 Fig. 6과 같이 3,500 kN 용량의 액츄에이터(Actuator)를 사용하였으며 가력보를 사용하여 3등분점 2점 가력을 하였다. 실험체의 변위는 각 하중점과 스패의 중앙부에 변위계(LVDT 200 mm : D1, D2)를 설치하여 측정하였다. 철근, 콘크리트, 보강재(CFS, 강판, 강봉, 철근)의 변형을 측정을 위한 WSG(wire strain gauge)는 Fig. 7(a), (b)와 같이 부착하였다. 고장력 인장강봉의 프리스트레스(prestress)는 턴버클을 회전시켜 강봉 항복강도의 30%만큼 도입하였다. 실험상황은 Fig. 8과 같다.

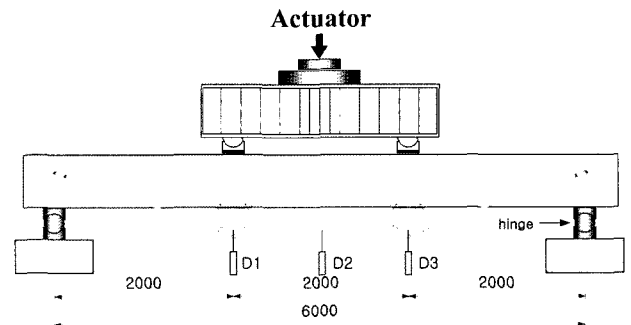


Fig. 6 Loading and measurement methods

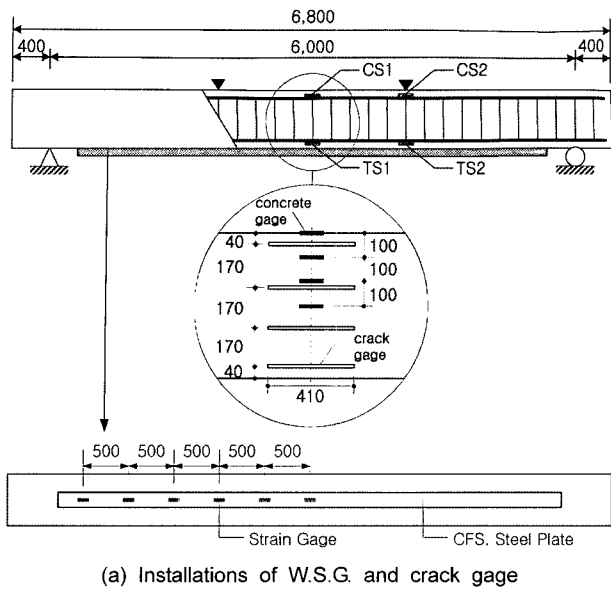


Fig. 7 Installations

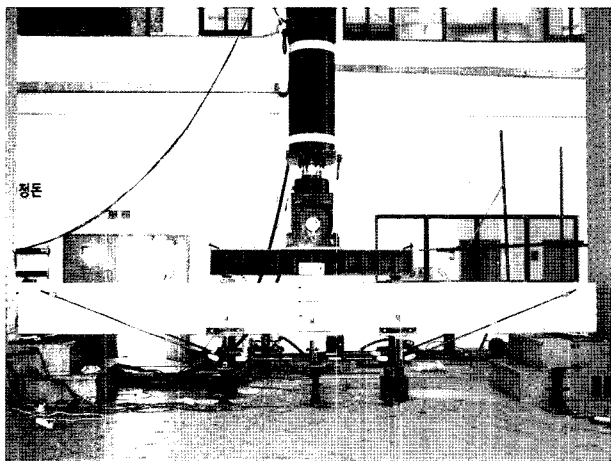


Fig. 8 Test setup

Table 5 Test results

Specimens	Stiffness (kN/mm)		Strength (kN)		
	Before crack	After crack	Crack	Yield	Ultimate
RC01	38.7	14.1	55.9	443.2	479.5
CF01	37.7	16.5	88.3	500.1	547.2
SP01	47.1	21.5	88.2	515.8	540.3
SP02	48.8	26.9	106.8	410.6	561.5
SP02R	33.2	22.8	24.5	649.2	698.2
T18U-H-P	41.7	21.5	116.7	665.7	767.9
T22U-H-P	36.2	21.7	160.8	722.8	887.5
T28U-H-P	44.0	21.7	152.0	805.1	1018.9

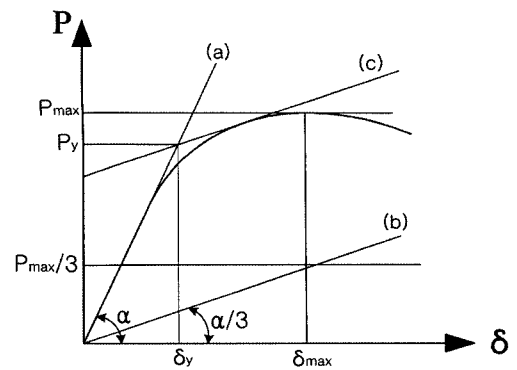


Fig. 9 Definition of yield load

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 결과

고장력 인장봉을 사용한 RC보의 휨 실험 결과를 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 항복하중은 Fig. 9와 같이 원점과 최대하중의 1/3되는 점을 연결한 선분 (a)를 초기접선강성 값으로 하고, 이 선분과 변위축이 이루는 각의 1/3이 되는 선분(b)를 원점에서 그은 후, 실험값과 외접하도록 평행이동 시켜 선분 (c)를 만들고, 처음에 그은 초기접선강성 선분 (a)와 만나는 접점으로 구한 값이다.

##### 3.1.1 무보강, 탄소섬유슈트보강 실험체

고장력 인장봉 보강 실험체의 비교를 위해서 실시한 무보강 RC보, 탄소섬유슈트 보강 및 강판보강 실험체에 대한 하중-변위관계 및 가력종료 후 파괴상황을 무보강 실험체와 비교하여 Figs. 10 및 11에 나타내었다. 무보강 실험체인 RC01 실험 결과, 하중 값 98.1 kN을 전후로 하여 가력점 부근에서 최초의 인장 휨균열이 발생하였으며, 균열의 진전과 함께 강성이 감소하였고 변위가 L/200을 전후로 하여 하부 인장철근의 항복하였으며, 이후 급격한 강성의 감소로 인하여 하중의 증가 없이 변위만 지속적으로 증가하다가 상부 압축측 콘크리트의 압괴로 최종 파괴에 이르는 전형적인 RC보의 휨파괴 거동을 나타내었다.

RC보 밑면에 탄소섬유슈트 2매를 보강한 CF01 실험체의 경우, 탄소섬유슈트의 보강으로 인해 항복강도는 무보

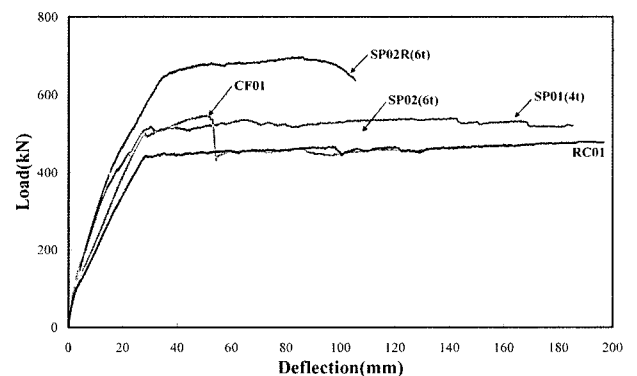


Fig. 10 Load-deflection relationship (RC, CF, SP)

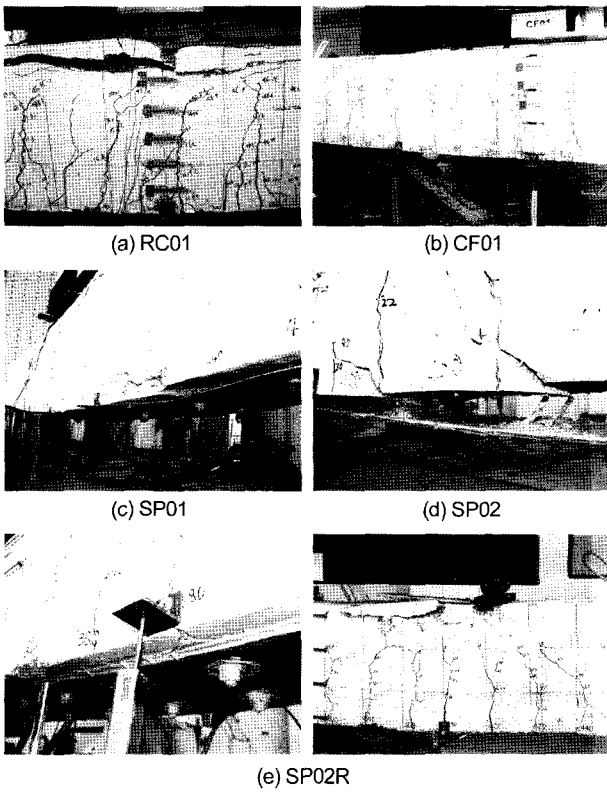


Fig. 11 Crack after failure (RC, CF, SP)

강 실험체에 비해서 약 10%정도 증가하였으며, 무보강 실험체와 마찬가지로 중앙부의 처짐 값이 스패의 L/200 을 전후로 하여 인장철근이 항복하기 시작하였다. 이후 균열폭이 증가함에 따라 콘크리트 계면과 탄소섬유쉬트의 경계에서 박리가 발생하기 시작하였으며 탄소섬유쉬트에 의한 2차강성의 발현으로 내력이 상승하다가 단부로의 박리가 급속히 진행되면서 547.2 kN에서 박리파괴 하였다. 최대하중 도달시 탄소섬유쉬트의 중앙부 변형률은  $5,483 \times 10^{-6}$ 으로 충분한 성능을 발휘하지 못하고 있음을 알 수 있으며 탄소섬유 쉬트의 박리로 인해 가력이 조기에 종료되는 매우 취약적인 거동을 나타내었다.

3 mm 강관을 콘크리트 밀면에 보강한 SP01 실험체의 경우, 초기균열은 137.3 kN 근처에서 발생하였으며 항복 하중에 도달하기 이전에 좌측 단부에서 에폭시의 부착파괴로 인한 강관의 박리가 시작되었고 항복하중을 전후로 하여 전스패에 걸쳐서 박리가 진행되었지만, 강관의 박리와 더불어 강관이 매립된 앵커볼트로 인해 콘크리트를 들고 떨어지는 현상(rip off)이 동시에 발생하여 급격한 내력저하현상은 나타나지 않았다. 6 mm 강관을 보강한 SP02의 경우에는 RC 보의 항복강도 이전인 405 kN에서 에폭시가 떨어지면서 한쪽의 강관이 분리되고 순간적인 내력 감소가 일어난 후 강도증가가 있었지만 스티드의 전단강도 부족으로 SP01과 거의 유사한 거동을 나타내었다. 이러한 요인은 SP02의 경우에 SP01 실험체와 동일하게  $\Phi 10$ 의 앵커볼트를 300 mm 간격으로 설치하여, 콘크리트와 강관 경계면에 작용하는 수평전단력을 앵커볼트가 지지하지 못하고 조기 파단 되었기 때문이다.

이러한 앵커볼트의 전단파괴를 방지하기 위하여 원래 계획에 없었지만 추가한 시험체로서  $\Phi 16$ 의 앵커볼트(H사의 HST M16)를 간격 200 mm로 설치하여 6 mm 강관을 고정한 SP02R 실험체의 경우, 항복하중 이후에도 급격한 하중의 감소가 없이 최대하중에 도달 하였으며, 최대하중 도달 이후, 가력점 상부 압축측 콘크리트의 압괴로 가력이 종료되었으며 가력종료시까지 앵커볼트가 콘크리트와 강관 경계면의 수평전단력에 저항하여 그림 11(e)와 같이 강관의 분리는 발생하지 않고 충분한 성능을 발휘하였다.

### 3.1.2 강보보강 실험체

$\Phi 18$  인장강봉을 사용한 T18U-H-P의 하중-변위관계 및 가력종료 후 파괴상황을 무보강 실험체와 비교하여 Figs. 12 및 13에 나타내었다. 본 실험체의 경우, 가력하중 154.8 kN에서 초기균열이 발생하였고, 항복하중의 도달 이후 실험체의 스패 중앙과 좌측 가력점 사이 압축측 콘크리트에서 압괴가 발생하기 시작하면서 최대내력에 도달하였고, 중앙부 수직변위 100 mm 근방에서 경사 인장강봉의 턴버클 연결부 나사산이 전단파괴되어 가력이 조기에 종료되었다. 가력 종료시 강봉의 변형률은  $5,831 \times 10^{-6}$ 으로서 중앙부 강봉 변형률  $12,000 \times 10^{-6}$ 의 절반에 머물렀지만, 경사 강봉재와 수평 강봉재 모두 항복점 이상의 변형률을 보였다. 이러한 강봉의 파괴는 턴버클 나사산 제작결함으로 나사산의 전단파괴에 의해 발생하였다. 최대내력은 767.7 kN으로 무보강 실험체인 RC01에 비해 약 60% 정도의 내력증진효과를 갖는 것으로 나타났고 긴장력 도입으로 인해 휨 균열의 진전이 가력점 이내로 억제되었고 전단력이 발생하는 가력점 외측부에서 전단균열이 거의 발생하지 않아 전단보강효과도 우수한 것으로 나타났다.

$\Phi 22$  인장강봉을 사용한 T22U-H-P의 경우, 가력하중 198.6 kN에서 초기균열이 발생한 이후 우측 가력점에 휨 균열이 집중하기 시작하였다. 실험체의 항복이후 내력이 지속적으로 상승하면서 우측 가력점 내부측으로 압축측 콘크리트의 압괴가 발생하였다. 가력종료시까지 강봉의 국부적인 파단없이 안정된 거동을 나타내었으며 최대내력은 887.3 kN으로 기준실험체 대비 85%의 내력상승효과를 나타내었다.

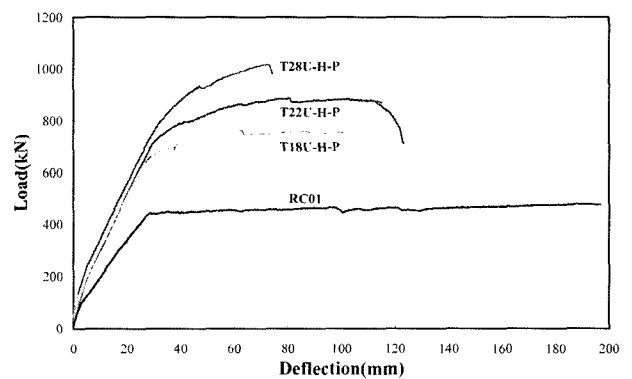


Fig. 12 Load-deflection relationship(U-H-P)

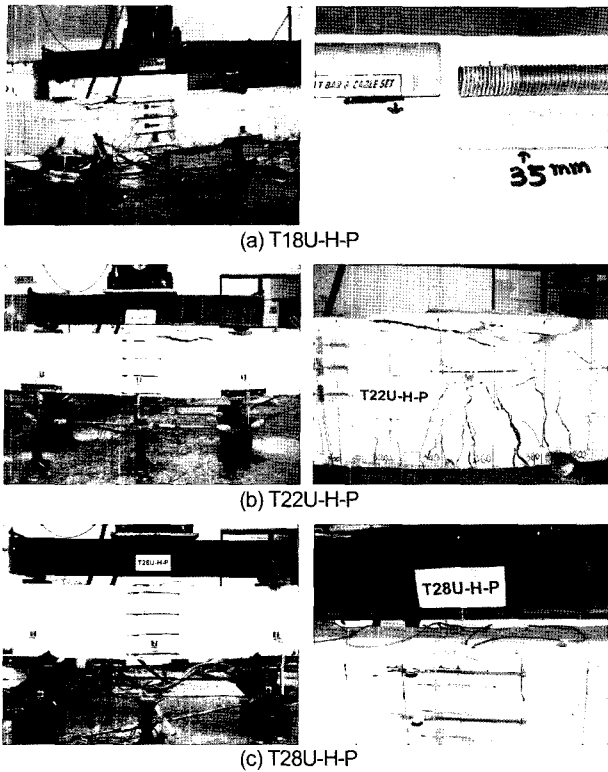


Fig. 13 Crack after failure (U-H-P Series)

Φ28 인장강봉을 사용한 T28U-H-P의 경우, 가력하중 220.6 kN에서 초기균열이 발생한 이후 중앙부 휨 균열이 진전되기 시작하였다. 가력점 내부의 휨균열이 점차 상부 압축측으로 진전되면서 항복이후에 압축측 콘크리트의 압괴가 발생하면서 내력이 약간 저하되었다. 이후에 다시 내력이 상승하기 시작하다 중앙부 변위 70 mm(L/85)근방에서 중앙부 인장강봉의 턴버클 연결부 나사산의 전단 파괴로 가력이 조기에 종료되었다. 확인 결과 강봉내력에 비해 강봉의 나사산 연결 깊이가 상대적으로 적게 제작되어 강봉의 인장력을 충분히 전달하지 못한 것으로 판명되었다. 실험체의 최대내력은 기준실험체인 RC01에 비해 약 112%의 내력상승률을 나타내었다.

### 3.2 강성 및 강도 평가

보강별 강성 및 강도를 파악하기 위하여 무보강 실험체(RC01)에 대한 보강 실험체의 강성 및 강도비를 Fig. 14에 나타내었다. 그림의 세로축은 무보강 실험체에 대한 보강실험체의 비를, 가로축은 보강실험체의 종류를 나타낸다. 강성의 경우에는 균열 전과 후를 각각 비교하였고, 강도의 경우에는 항복과 최대강도를 비교하였다. 먼저 탄소섬유쉬트로 보강된 실험체의 경우에는 0.97~1.16의 분포를 나타내었고, 강도의 경우에는 1.10~1.14의 보강효과를 나타내어, 밀면보강과 U보강 모두 강성과 강도에서 무보강 실험체와 크게 차이를 나타내지 않아 보강효과가 크지 않은 것으로 나타났다. 강판보강의 경우에는 강판두께가 3 mm인 경우에는 강도의 경우 항복시와 최대시

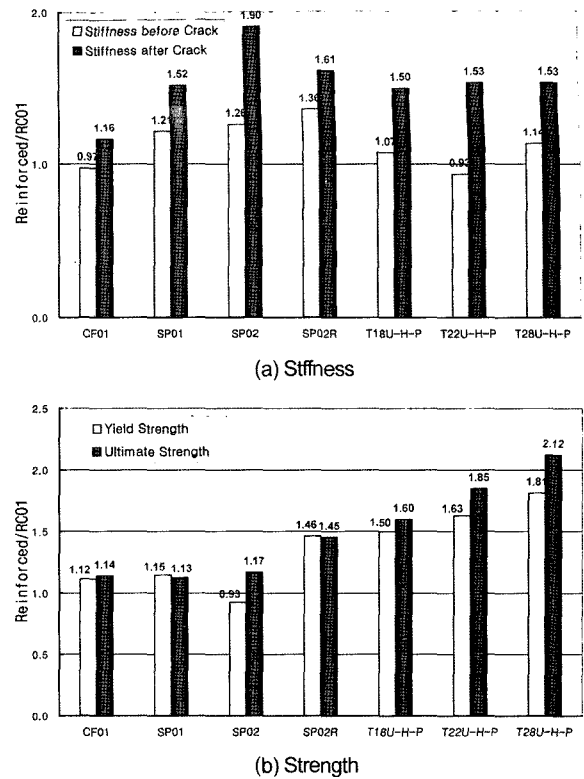


Fig. 14 Evaluation of stiffness and strength

1.13~1.15의 비를 나타내었고, 강성에 있어서는 1.21~1.52의 분포를 나타내어 강도보강효과에 비하여 강성보강 효과가 더 큰 것으로 나타났고, 6 mm 강판보강의 경우에는 강성과 강도보강 효과가 우수한 것으로 나타났다. 강봉보강 실험체의 경우에는 균열전 강성에서는 큰 효과를 보이지 않았지만, 균열이후의 강성이 무보강 실험체와 비교하여 1.5배 정도 증진되는 우수한 보강효과를 나타내었고, 강도에서는 1.50~2.12배의 보강효과를 가졌으며, 강봉 직경에 비례하여 강도가 상승하였다.

### 3.3 변형도 고찰

#### 3.3.1 무보강, 탄소섬유쉬트, 강판보강 실험체

Figs. 15~17은 무보강 및 탄소섬유보강 실험체의 하중 단계에 따른 중립축의 변화를 비교하여 나타낸 것이다. Figs. 15 및 16, 17(a)의 경우, 세로축은 단면 내 변형도 게이지의 부착위치를 나타내고 가로축은 하중단계별 변형도의 크기를 나타내며, Figs. 16, 17(b)의 경우에는 세로축은 변형도의 크기를, 가로축은 실험체 하부측에 부착한 탄소섬유쉬트 및 강판의 중앙부에서 지점사이의 변형도 게이지 부착위치를 나타낸다.

무보강 실험체(RC01)는 하중이 점차 증가함에 따라 중립축이 점차 상부로 상승하다가 항복하중 441.3 kN을 전후로 하여 하부 인장측 철근의 항복과 더불어 중립축의 위치가 RC보의 하부 인장측으로 떨어지고 있음을 보여 준다. 탄소섬유쉬트로 보강한 CF01 실험체의 경우, 인장측 콘크리트의 균열발생 이후 중립축이 상부 압축측 콘

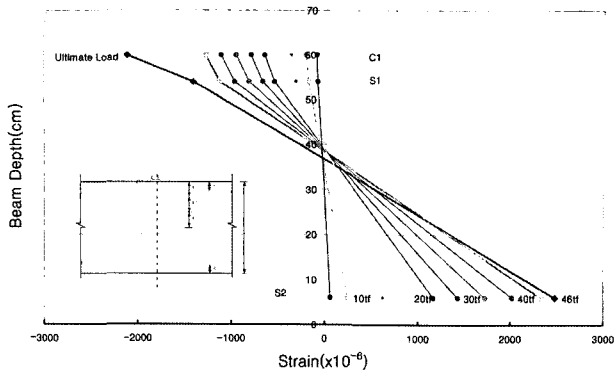
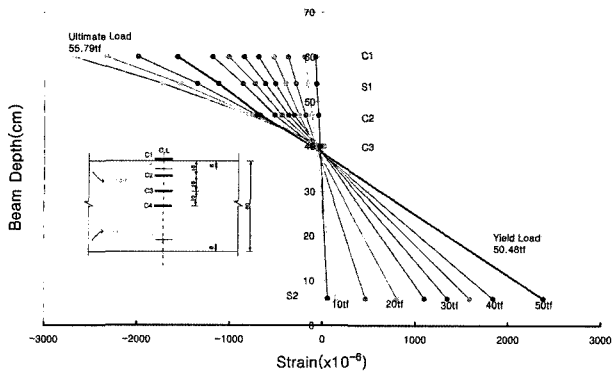
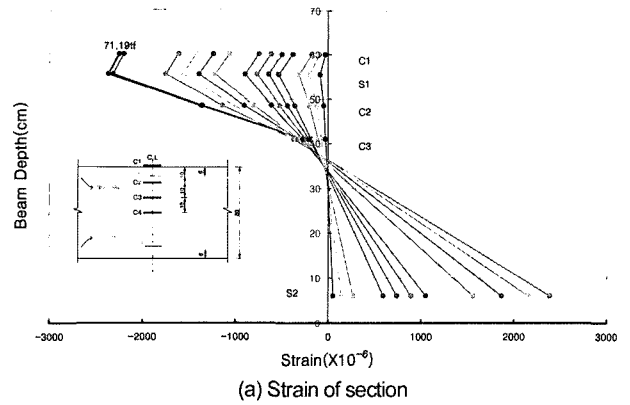
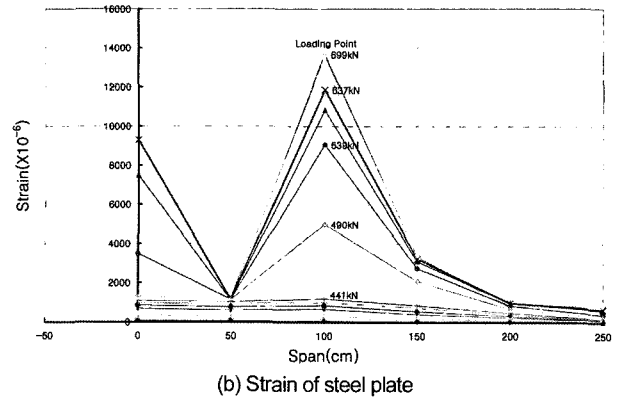


Fig. 15 Strain distributions for load level (RC01)

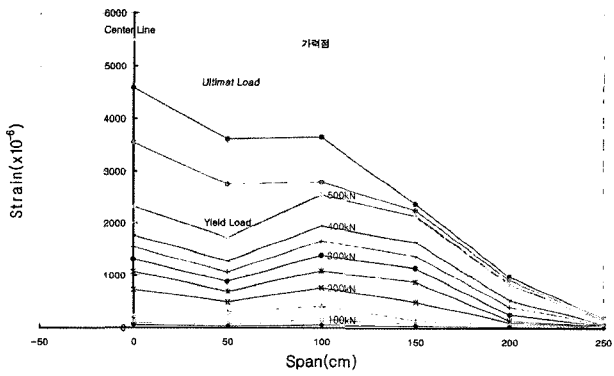


(a) Strain of Section



(b) Strain of steel plate

Fig. 17 Strain distributions for load level (SP02)



(b) Strain of Sheet

Fig. 16 Strain distributions for load level (CF01)

크리트로 선형적으로 증가하다가 상부 압축 콘크리트의 변형도 증가로 항복하중에 도달한 후 가력이 종료된 상황을 나타내고 있다. 하부 탄소섬유쉬트의 변형도의 경우에는 쉬트가 박리하기 이전에는 합성으로 거동하기 때문에 변형도의 분포가 가력점 및 중앙부에서 비교적 높게 분포하고 있음을 알 수 있으며 가력점에서 지점으로 갈수록 변형도가 작아 대부분의 하중을 중앙부에서 가력점 사이의 쉬트가 부담하고 있는 것으로 나타났다.

RC보의 하부에 6mm의 강판을 보강한 SP02 실험체의 경우에는 항복하중 및 최대하중시의 강판의 변형도가  $2500 \times 10^{-6}$  근방으로 최대하중시에도 하부 강판의 변형도의 감소가 없이 지속적으로 증가함을 알 수 있고, 중립축위치는 가력을 종료할 때까지 RC보의 하부로 떨어지지 않아

콘크리트와 강판이 완전합성으로 거동하는 것으로 나타났다. 길이방향 강판의 변형도를 살펴보면 가력초기에는 강판의 전부분이 균등하게 하중을 부담하다가, 강판의 항복 이후에 가력점 부근에서 변형도가 크게 나타난 것은 실험과정상 하중에 가력점에 집중되어 발생한 것으로 판단된다.

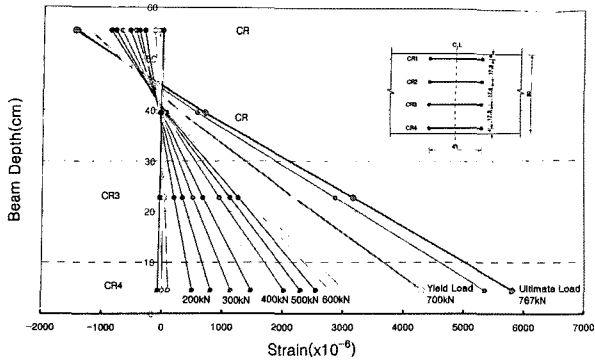
### 3.3.2 강봉보강 실험체

Fig. 18은 강봉보강 실험체의 하중단계에 따른 중립축의 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 변형도 분포는 실험체 중앙부에 부착한 크랙게이지를 통하여 계산된 값을 나타낸다. 실험 결과, 하중이 증가함에 따라 하부 인장측 콘크리트의 균열로 중립축이 상부 압축측으로 이동하다가 항복하중에 도달하면서 인장측 변형도가 급격히 증가하였고, 항복하중 이후 하부인장철근의 항복과 상부 압축철근의 압괴가 동시에 진행되기 때문에 최대하중 도달시의 중립축의 변화는 거의 나타나고 있지 않음을 알 수 있다.

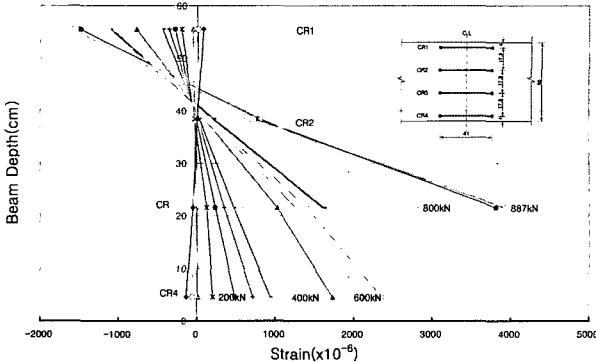
## 4. 결 론

외부 포스트텐션 보강재로서 고장력 인장봉을 사용한 RC보 실험체와 기존의 탄소섬유, 강판보강시험체의 휨 실험으로부터 다음의 결론을 도출하였다.

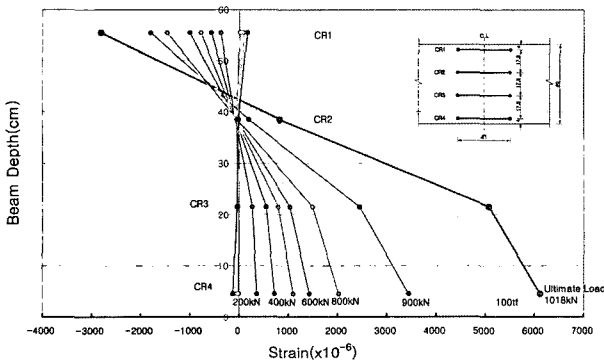
- 1) 탄소섬유 보강 시험체는 무보강 시험체의 항복처짐의 두 배 정도의 처짐에서 탄소섬유가 급격히 박리되면서 취성과괴 됨으로써 탄소섬유가 보강재의 기



(a) T18U-H-P



(b) T22U-H-P



(c) T28U-H-P

Fig. 18 Strain distributions of U-H-P series

능을 상실하였다. 박리되는 시점의 변형도는 탄소섬유 강도에 미치지 못하므로 보강설계시 이러한 취성적 파괴와 탄소섬유의 강도저감을 고려하여야 한다.

**요약** 본 논문은 외부 비부착 고장력 인장봉을 사용한 새로운 방식의 RC보의 휨보강공법에 관한 논문이다. 제안된 공법의 장점은 기존의 보강방식과 비교하여 빠르고 간단하게 시공할 수 있다는 점이다. 제안된 공법은 기존의 외부 비부착 프리스트레싱 텐던공법의 많은 장점을 보유함과 동시에 프리스트레싱 작업시간을 단축시킨 공법이다. 탄소섬유 슈트, 강관 및 고장력 인장봉과 같은 서로 다른 보강재를 사용하여 보강한 철근콘크리트보 실험체를 총 9개 제작하여 실험하였다. 실험 결과, 탄소섬유슈트로 보강된 RC보는 슈트의 박리로 인한 취성파괴모드를 나타내었다. 강관보강 시험체의 경우도 기존의 일반적인 앵커와 에폭시로 접합을 할 경우에 강관보강의 효과가 떨어지고 앵커설계를 특별히 하고 시공에 유의하여야 함을 보여주고 있다. 반면에 고장력 인장봉을 사용한 RC보의 경우에는 무보강 RC보와 비교하여 최대내력이 212% 증가하였고, 중앙부 처짐은 65% 감소되었다. 실험 결과는 고장력 인장봉으로 보강된 RC보는 특히 강도와 변형능력에서 기존의 보강방법을 사용한 실험체보다 우수성을 보여주었다.

**핵심용어** 고장력 인장봉, 보강, 프리스트레싱, 포스트 텐션, 비부착

- 2) 강관보강 시험체의 경우, 강관과 피보강재의 일반적인 접합에 사용되는 에폭시와 스티드를 사용할 경우에 에폭시는 합성재로서의 접합효과가 거의 없고 앵커 볼트도 보강재의 역할을 충분히 하지 못하는 것으로 나타났다.
- 3) 강관보강의 효과가 충분히 나타나기 위해서는 앵커 볼트가 강관전체의 인장력에 저항하도록 쉬어 스티드 설계와 동일하게 하고 앵커의 깊이도 충분한 전단강도를 확보하도록 하여야 한다.
- 4) 외부 포스트 텐션에 의한 강봉 보강 시험체는 탄소섬유보강 시험체나 강관보강시험체 보다 강성 및 내력이 우수하게 나타났으며 특히 변형능력이 우수하여 기존의 보강방법의 대체방법으로서의 가능성을 보여주었다.
- 5) 강봉 보강 실험체의 경우 탄소섬유슈트 및 강관 보강 실험체에서 다수 발생한 전단균열이 실험체 파괴 시까지 거의 발생하지 않아 휨성능 뿐 만 아니라 RC보의 전단성능의 향상에 기여함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 김기봉, 정영수, 최혁주, 강보순, “외부 후 긴장으로 보강한 합성보에 대한 실험적 연구”, 한국강구조학회 논문집, Vol.10, No.4, 1998. 12, pp.701~708.
2. 김성배, 김도훈, 서동기, 김상모, 이창남, 김상섭, “포스트 텐션으로 보강한 합성보의 내력평가에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, Vol.20, No.1, 2004. 1, pp.59~66.
3. 박순규, 이상윤, “합성섬유로프 인장재로 보강된 RC보의 휨거동”, 대한건축학회논문집 구조계, Vol.20, No.8, 2004. 8, pp.19~26.
4. Wu, X. H. and Lu, X., “Tendon model for nonlinear analysis of externally prestressed concrete structures”, *Journal of structural engineering*, Vol.129, No.1, 2003. 1, pp.96~104.
5. Harajli, M. H., “Strengthening of concrete beams by external prestressing”, *PCI journal*, Vol.38, No.6 1993. 11-12, pp.76~88.
6. Naaman, A. E. and Alkhairi, F. M., “Stress at ultimate in unbonded post-tensioning tendons: part 1- evaluation of the state-of-the-art”, *ACI structural journal*, Vol.88, No.5 1991. 9-10, pp.641~651.