Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 19, No. 5, pp. 595~602, October, 2007

프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP를 이용한 교각 두부 보강에 관한 연구

홍성남[1] · 김태완[1]* · 박선규[1] · 박종섭[2] · 박영환[2]
[1]성균관대학교 건설환경시스템공학과 [2]한국건설기술연구원

A Study on Strengthening of Reinforced Concrete Pier Caps Using Prestressed Near Surface Mounted CFRP

Sung-Nam Hong[1], Tae-Wan Kim[1]*, Sun-Kyu Park[1], Jong-Sup Park[2], and Young-Hwan Park[2]
[1]Dept. of Construction and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
[2]Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

ABSTRACT Recently, concrete structures with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) reinforcements have been commonly used for the bridge and building construction. In this paper, pier caps were strengthened by prestressed near surface mounted CFRP. To verify the effectiveness of the strengthening method, 7 pier cap specimens were fabricated. One specimen was designed for control, two for external presressing steel strands, two for CFRP plates, and two for CFRP bars. Experimental variables consist of type of reinforcement materials and prestressing levels. The results of laboratory have shown that the ultimate load capacities of prestressed near surface mounted CFRP specimens were about 20~33% greater than that of a control specimen. Also, ultimate load capacities of prestressed near surface mounted CFRP specimens were similar to those of external presressing specimens with steel strands.

Keywords : near surface mounted, pier cap, steel strand, CFRP

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 경제성과 내구성이 우수하며, 또한 내화성이 좋고 구조물의 형상과 크기에 제약을 받지 않아 현재까지도 가장 많이 사용되어지는 구조이다. 그러나 시공 중의 설계 변경 및 시공 불량, 구조물의 완공 후의 용도 변경에 따른 외력의 증가, 구조물 주위의 환경 변화, 시간의 경과에 따른 재료의 물성 변화 등 계획, 설계 및 시공 중에 예측하지 못한 여러 가지 요소에 의해 손상을 입게 된다. 그러므로 철근콘크리트 구조물은 계획 단계에서부터 완공까지 철저한 관리가 필요할 뿐만 아니라 완성 후에도 정기적인 점검을 실시하여 구조물의 노화 현상, 즉 성능 저하 정도를 파악하고 그에 따른 적절한 유지관리가 필요하다.

기존 구조물의 유지관리에 대한 필요성이 부각되면서 전국의 교량 구조물을 대상으로 주기적인 안전진단이 실시되어오고 있다. 대부분의 진단 보고서 상에는 교각의 두부에 많은 균열이 발생한 것으로 보고되고 있다[1,2]. 이에 따른 보강 방법으로는 섬유질 보강재로 둘러싼 후 에폭시를 주입하는 섬유보강공법, 보강 강판을 앵커볼트로 부착보강하고 그라우팅을 하는 강판접착공법, 새로운 콘크리트로 대체하여 단면을 늘임으로써 부재력을 향상시키는 단면확대공법, PS 텐던으로 긴장하고 정착하여 구조물에 압축력을 주어 마찰력 증대에 의한 전단력을 증가시켜 보강하는 외부강선보강공법 등이 있다.

그러나 섬유보강공법은 재료의 특성상 파괴 후 거동이 취성적인 경우가 있으며, 강판접착공법은 교통 통제가 필요 없으나 에폭시가 고가인 단점이 있고, 시공 후의 내부 변화를 관찰하기 곤란하다. 외부강선보강공법은 일반적으로 공사 규모가 커지며, 설계 및 시공도 다른 공법보다 복잡하며, 외부 노출에 의한 부식 등으로 인한 유지관리의 어려움이 있다.

표면매립공법 (near surface mounted, NSM)은 콘크리트 부재에 일정 폭과 깊이의 홈을 만들어 에폭시를 충진하고 보강재를 매립하여 보강하는 방법으로서 Asplund에 의해서 최초로 시도되었다[3].이 공법은 기존 부착공법의 문제점인 조기 파괴, 차량의 충돌 및 화재에 의한 손상을 방지하고, 외부강선보강공법의 노출에 의한 부식 등에 따른 유지관리가 필요 없기 때문에 CFRP 재료의 이용 가치를 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다[4-9].

따라서 본 연구에서는 프리스트레스가 도입된 표면매립보강공법과 외부강선보강공법 실험을 통해 두 실험체의 성능을 비교하여 적용성 및 효율성을 검증하고자 한다.

*Corresponding author E-mail : tk776@skku.edu
Received January 15, 2007, Accepted July 20, 2007
©2007 by Korea Concrete Institute

2. 실 험

2.1 실험 개요

본 실험에서는 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP에 의해 보강된 교각 두부를 대상으로 역학적 거동 특성에 대한 고찰을 통해 보강된 교각 두부의 보강 효과 및 파괴 모드를 실험적으로 분석하는데 목적이 있다. 실 교각 두부를 제작하여 실험하기에는 여러 가지 문제점이 따른다. 따라서 Fig. 1에 나타낸 공용중인 실제 교량의 교각 두부를 Table 1을 이용하여 일정한 기하학적 상사비 (S = 3/11.5)를 만족하도록 축소 제작하여 실험하였다.

실험체는 실험변수를 Table 2와 같이 보강재의 종류 (CFRP plate, CFRP bar, steel strand), 프리스트레스 도입량으로 총 7개의 실험체를 제작하였다.

2.2 사용 재료

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24 MPa인 레미콘 제품을 사용하였으며, 레미콘 타설시 ϕ100 × 200 mm 압축강도 시험용 공시체 몰드를 취득하여 KS F 2405 (콘크리트 압축강도 시험 방법)에 의하여 재령 28일에 각각 3개씩 압축강도시험을 실시하여 평균값을 구하였다. 시험 결과는 Table 3과 같다.

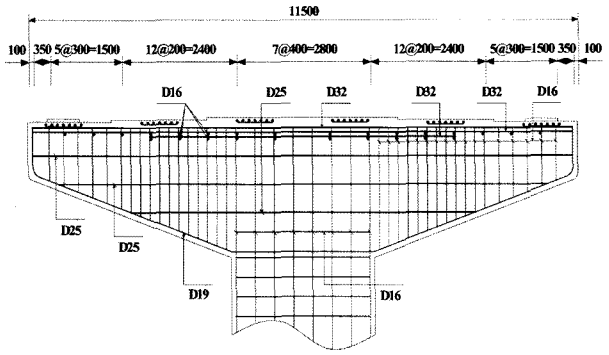


Fig. 1 Full scale pier cap

Table 1 Scale factors

Quality	Dimension	Scale factor
Length	L	S
Mass	M	S3
Force	MLT-2	S2
Stress	ML-1T-2	1

Table 2 Testing variables

Pier cap	Parameter	
	Reinforcing material	Prestressing force (kN)
Control	-	0
P2-10/15	CFRP plate	100/150
B2-10/15	CFRP bar	100/150
EX2-10/15	Steel strand	100/150

실험체의 배근에 사용된 철근은 Table 4에 나타냈듯이 항복강도 481 MPa인 D22 인장철근과 항복강도 463 MPa인 D13 수직전단철근, 항복강도 426 MPa인 D10 수평전단철근을 사용하였다.

실험체 보강에 사용된 CFRP 보강재중 plate는 넓이가 25 mm, 두께가 1.2 mm이고 인장강도가 2,942 MPa, 바 (bar)는 직경이 9 mm이고 인장강도가 1,838 MPa인 국내 S사, D사의 제품을 각각 사용하였다. 에폭시는 부착 강도가 3.54 MPa인 재료를 사용하였다. 그리고 외부강선보강공법의 보강에 사용된 보강재는 SWPC 7B 12.7 mm인 강연선을 사용하였다. 각 보강 재료의 재료적 성질은 Tables 5, 6 및 7과 같다.

2.3 실험체 제작

본 실험에서는 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP에 의해 보강된 교각 두부와 외부강선보강공법의 보강 성능 비교 검토를 위하여 실 교각 두부를 축소한 control 실험체는 Fig. 2 (a)와 같이 전체 길이 3,000 mm, 폭 520 mm이며 피복두께는 50 mm로 제작하였다. 또한 Fig. 1에 나

Table 3 Concrete

Specified concrete strength (MPa)	Compression strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
24	30.5	2.3×10^4

Table 4 Reinforcing steel

Type	Strand diameter (mm)	Area (mm^2)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)
D10	9.53	71.3	426	562	200,000
D13	12.7	126.7	463	581	200,000
D22	22.2	387.1	481	608	200,000

Table 5 CFRP reinforcement

Type	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Dimension (mm)	
Plate	2,942	147,100	Width	Thick
			25	1.2
Bar	1,838	112,159	Diameter	
			9	

Table 6 Epoxy

Type	Compression strength (MPa)	Bending strength (MPa)	Bond strength (MPa)
Epoxy	110	62	3.5

Table 7 Steel strand

Type	Diameter (mm)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
SWPC 7B	12.7	1,580	1,853

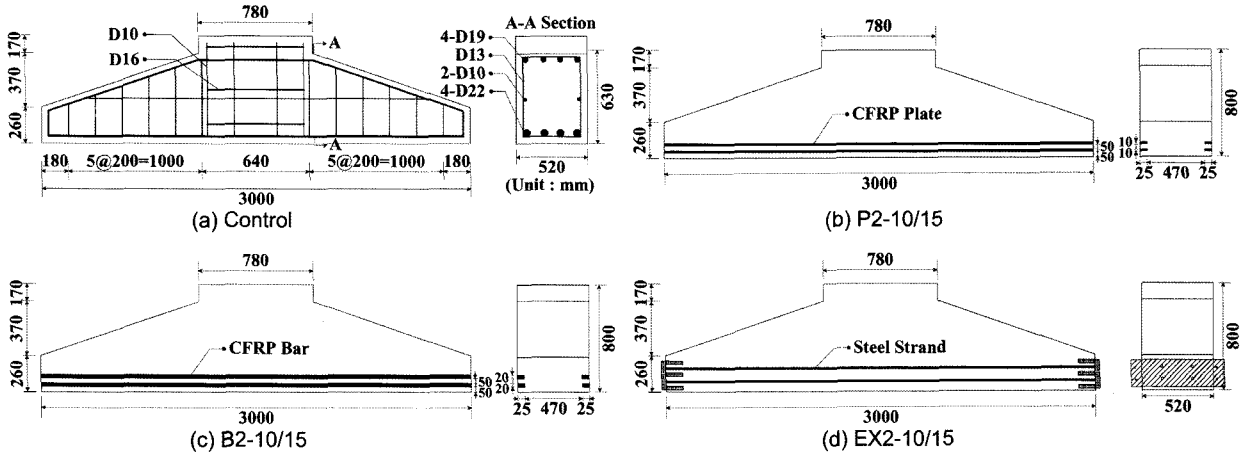


Fig. 2 Specimen shapes

타낸 적용 대상 실 교각 두부에서 사용된 철근은 설계 도면 및 KS D3504에 의한 SD30의 D32의 상용 철근을 인장철근으로, 수평전단철근은 D25, 전단철근은 D16을 사용하였다. 축소된 실험체의 경우 기하학적 상사비 (S = 3/11.5)를 만족하고자 인장철근의 경우 D22, 수평전단철근은 D10, 전단철근은 D13을 사용하여 철근비, 개수, 배근 간격에서 완전한 상사가 되도록 하여 보다 정밀한 값을 얻고자 하였다.

표준 실험체는 Fig. 2 (a)에 나타낸 바와 같이 보강을 전혀 안한 축소된 실험체이고, Fig. 2 (b)에 나타낸 P2-10/15 실험체는 총 4개의 CFRP plate로 보강 하였고, 각 보강 강재 당 25 kN, 47.5 kN의 프리스트레스를 도입하였다. 그리고, CFRP plate는 실험체 하단으로부터 50 mm에 첫 번째 홈을 만들고 이 홈으로부터 다시 50 mm 떨어진 곳에 두번째 홈을 만들어서 2단 매립하였고, 매립용 홈은 넓이가 10 mm이고 깊이는 전단철근을 간섭하지 않는 범위인 25 mm로 제작하였다. Fig. 2 (c)에 나타낸 B2-10/15 실험체는 총 4개의 CFRP bar로 보강 하였다. 매립용 홈의 넓이만 20 mm로 틀리고 나머지 조건은 P2-10/15 실험체와 동일하다. 그리고 Fig. 2(d)에 나타낸 EX2-10/15 실험체는 외부강선보강공법 실험체로서 교각 두부 보강에 가장 많이 사용되고 있는 지압지지방식의 정착 장치를 제작하여 φ18 mm의 고강도 앵커볼트로 실험체에 고정하였다. 총 4개의 steel strand를 사용하여 보강하였고, 프리스트레스 도입량은 앞서 설명한 실험체들과 동일하다.

하중 재하 시 실험체 철근과 CFRP 보강재와의 응력분담률과 철근의 항복 시점을 파악하기 위하여 콘크리트 타설 전 내부 철근의 표면에 전기 저항식 변형률게이지를 설치하였다. 매립되어 있는 변형률게이지가 콘크리트 타설에 의해 손상되는 것을 방지하기 위하여 방수형 코팅제를 도포하여 1차 보호막을 형성하고, 그 위에 방수테이프를 사용하여 2차에 걸친 보호막을 형성하였다.

2.4 프리스트레스 도입

CFRP 보강재에 프리스트레스 도입을 위해 Fig. 3과 같은 장치를 제작하여 실험체에 부착 후 유압잭을 통하여 프리스트레스를 도입하였다. 프리스트레스 도입 시 사용된 정착장치의 자세한 단면은 Fig. 4와 같다. 프리스트레스 도입 전 실험체 양 옆면 하단에 2단으로 만들어진 홈에 에어 브러쉬 등을 사용하여 미세먼지를 제거하고, 홈 안에 프라이머를 도포하여 1일 이상 양생한 후, 각 실험변수에 맞는 CFRP 보강재를 홈 안에 거치하여 프리스트레스를 도입하였다. 프리스트레스 도입 후에 에폭시와 경화제를 2 : 1 비율로 계량하여 홈 안에 충진시키고, 최소 3일 이상 양생한 후 실험을 실시하였다.

CFRP 보강재에 대한 프리스트레스 도입량은 Table 2에 나타냈듯이 프리스트레스를 도입하지 않은 경우를 0%로 하고, CFRP 보강재의 인장강도를 고려하여 100 kN과 150 kN을 도입하였다. 또한 CFRP 보강재의 프리스트레스 변화를 handy strain meter를 사용하여 측정하였다. 측

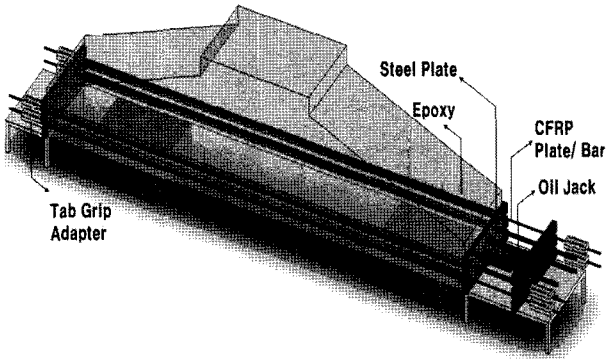


Fig. 3 Prestressing setup

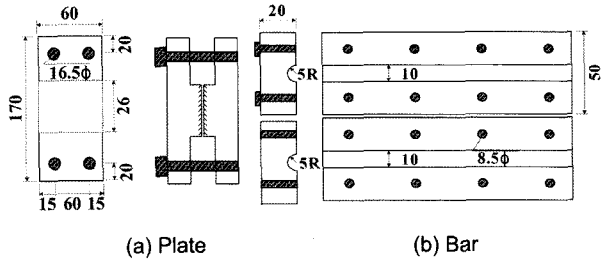


Fig. 4 Tab grip adapter

정 위치는 Fig. 5와 같이 중앙부 (1, 2, 5, 6), 캔틸레버부 (3, 7), 단부 (4, 8)에 게이지를 부착하여 측정하였다. 측정 결과 모든 실험체가 프리스트레스 도입량에 상관없이 단부에서의 변형률이 크게 감소하는 것으로 나타났으며 중앙부와 캔틸레버 부는 변화가 거의 없었다.

2.5 하중 재하 및 측정 방법

실험 결과에 대한 정확한 비교 분석을 수행하기 위하여 단면의 응력 및 변형률과 처짐 등을 정확하게 계측하여야 한다. 따라서 실험체의 각 단면에 변형률게이지, LVDT 등을 부착하여 실험 데이터를 획득하였다. 하중 재하는 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 2,000 kN 용량의 로드셀과 유압잭을 집중하중으로 인한 파괴를 방지하고 실험체에 하중을 골고루 분산시키기 위하여 교각 두부 상부 크기와 동일한 크기로 제작된 520 mm×520 mm의 받침위에 설치하여 3점 재하 하였다. 실험 데이터는 정적 데이터 로거를 이용하여 매 1초 간격으로 측정을 실시하였다. 실험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 변형률 측정을 위하여 인장, 전단, 수평전단철근에 전기 저항식 변형률게이지를 매설하였고, 경간 중앙의 상단, 중앙과 하단에 콘크리트 게이지를 부착하였다. 실험체에 부착된 게이지의 위치는 Fig. 5에 나타내었다.

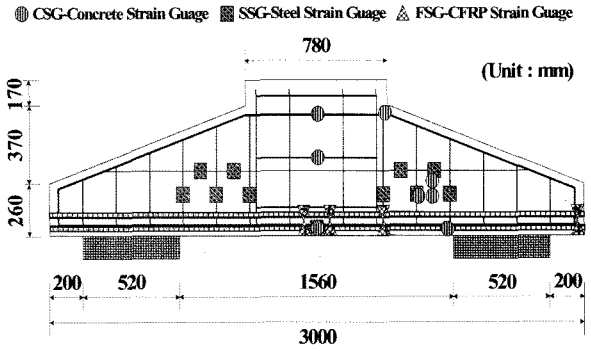


Fig. 5 Location of strain guages

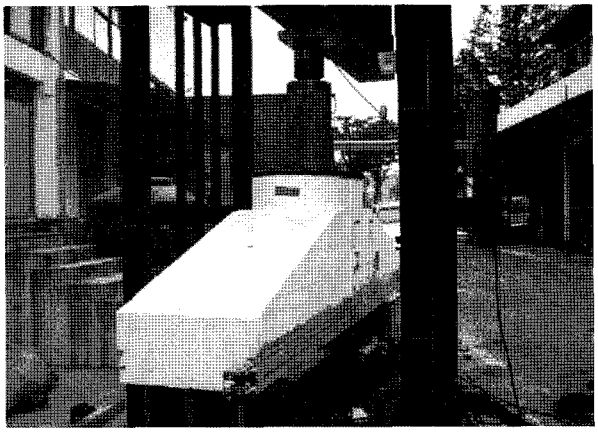


Fig. 6 Experimental setup

3. 실험 결과

3.1 파괴 양상

실험 결과 control 실험체는 중앙부에서 휨 균열이 먼저 발생한 후 캔틸레버 부에서 사인장균열이 진전되면서 전형적인 휨 전단균열에 의한 전단-압축파괴의 형태를 나타냈다. Fig. 7 (a)는 실험에서 나타난 control 실험체의 파괴 형상이다. 프리스트레스가 도입된 표면매립보강공법으로 보강된 실험체는 지간 중앙에 인장균열 발생 후 지점 단면의 상부 CFRP 보강재 바로 위 부분에서 복부 전단균열이 발생하여 균열이 상부와 하부로 동시에 진전되며 파괴되는 양상을 보였다. 프리스트레스 도입량이 큰 실험체일수록 중간 부분에서 하부로의 균열이 늦게 진전되는 양상을 나타냈다. 기둥부의 균열은 프리스트레스 도입량에 따라 1,000~1,200 kN에서 발생했으며 프리스트레스 도입량이 클수록 균열이 늦게 진전되는 것으로 나타났다.

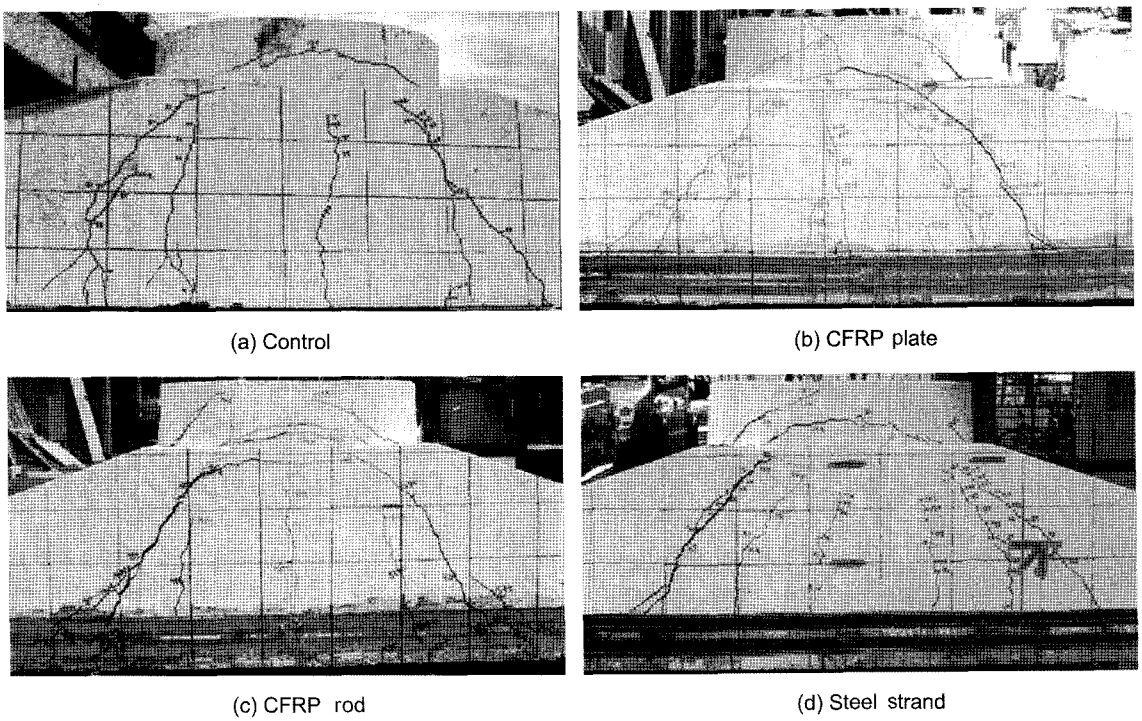
Fig. 7 (b)와 (c)는 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP에 의해 보강된 실험체의 파괴 양상을 나타내었다. 외부강선보강공법으로 보강된 실험체는 프리스트레스가 도입된 표면매립보강공법으로 보강된 실험체와 달리 균열이 하부에서 상부로 진전되면서 휨 전단균열이 발생하였고, 동일 프리스트레스 크기인 실험체 (EX2, P2, B2-10과 EX2, P2, B2-15)는 극한하중이 유사한 것으로 나타났다. Fig. 7 (d)는 외부강선보강공법으로 보강된 실험체의 파괴 양상을 나타내었다. 결론적으로 모든 실험체의 파괴는 전단-압축파괴 형태를 띠었지만, 프리스트레스가 도입된 표면매립보강공법으로 보강된 실험체는 균열이 CFRP 보강부분을 중심으로 상하로 진전되는 파괴 모드를 나타냈다.

3.2 하중-처짐 관계

Table 8에 중요 실험 결과인 육안으로 확인된 균열하중, 인장철근의 항복하중 및 극한하중과 그 때의 처짐을 각각 나타내었다. 실험 결과를 살펴보면 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP로 교각 두부를 보강함으로써 균열, 항복 및 극한하중이 증가하는 것을 보여주고 있다.

Fig. 8에는 동일 프리스트레스가, 100 kN 및 150 kN, 도입된 외부강선 보강 (EX2-10, EX2-15), 탄소 판 (P2-10, P2-15) 및 탄소 바 (B2-10, B2-15) 보강 실험체를 control 실험체와 비교하여 하중-변위 관계를 각각 나타내었다.

Fig. 8에서 알 수 있듯이 각 보강 실험체의 강성이 control 실험체에 비해 강성이 우수하다. 이는 보강재의 단면적과 프리스트레스 도입량이 강성 증대에 효과를 발휘하는 것을 나타냈다. 하지만 P2-15 실험체는 control 실험체와 거의 유사한 것으로 나타났다. 이것은 하중 재하 초기에 에폭시와 콘크리트의 계면에서 계면 파괴가 진행되어 보강재의 단면적과 프리스트레스가 제대로 실험체 전달되



(a) Control (b) CFRP plate

(c) CFRP rod (d) Steel strand

Fig. 7 Failure modes of specimens

Table 8 Significant values for load and midpoint displacement

Specimen	Cracking		Yielding		Ultimate	
	Load (kN)	Displacement (mm)	Load (kN)	Displacement (mm)	Load (kN)	Displacement (mm)
Control	128	0.49	1,222	5.12	1,296	6.40
P2-10	491	1.44	1,412	5.33	1,527	6.60
P2-15	520	1.82	1,512	6.31	1,592	7.90
B2-10	474	1.44	1,451	5.87	1,576	7.5
B2-15	530	1.28	1,504	5.60	1,704	7.60
EX2-10	202	0.47	1,419	5.00	1,560	6.40
EX2-15	294	0.71	1,585	6.31	1,733	9.15

지 못하여 강성 증대에 영향을 미치지 못한 것으로 판단되었다.

보강된 실험체가 동일 하중에서 control 실험체에 비해 처짐이 작게 나타났지만, 최대 처짐은 증가하였다. 프리스트레스 도입에 따른 연성이 감소할 것이라는 판단과 반대의 결과를 나타냈다. 이것은 프리스트레스를 도입하더라도 보강재의 변형률 여유량이 커서 부재가 항복한 후에도 지속적으로 하중에 저항하는 것으로 나타났다.

프리스트레스 도입량에 따른 보강 효과를 살펴보면 균열하중, 항복하중 및 극한하중에 사이에 현격한 차이가 보인다. 이것은 실험체의 하단 양 옆면 홈 속에 설치된 보강재에 도입된 프리스트레스가 콘크리트 인장부에 큰 응력을 유발시켜 균열에 저항하는 하중이 증가한 것으로 나타났고, 철근의 항복하중 또한 증가하였다. 이는 프리스트레스 도입량이 균열하중 및 항복하중 증가에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 그리고 극한하중은 100 kN 프리스트레가 도입된 실험체는 control 실험체에 비해 약 20~30% 정도 증가하였고, 150 kN 프리스트레가 도입된 실험체는 최대 약 33%의 보강 효과를 나타냈다. 즉 100 kN 보강 실험체에 비해 150 kN 보강 실험체가 극한하중이 약 5~10% 정도 큰 것으로 나타났다.

3.3 하중-보강재 및 철근 변형률

Fig. 9는 프리스트레스 기준으로 control 실험체를 제외한 각 실험체의 보강을 위하여 사용된 보강재 (CFRP plate, CFRP bar, steel strand)의 변형률 분포를 비교하여 나타내었다. CFRP bar 보강재는 하중이 증가함에 따라 보강재의 변형률도 거의 선형적으로 증가하다가 균열 발생 후 변형률이 급격하게 증가하는 양상을 나타냈으며, 도입된 프리스트레스가 클수록 변형률 변곡점이 더 높은 하중에 나타났다. 이는 CFRP bar 보강재에 프리스트레스를 도입함으로써 인장측 콘크리트에 프리스트레스가 가해졌으며, 이로 인해 인장측 콘크리트 단면의 인장저항이 증가한 결과로 판단된다.

CFRP plate 보강재의 변형률 양상은 CFRP bar 보강재

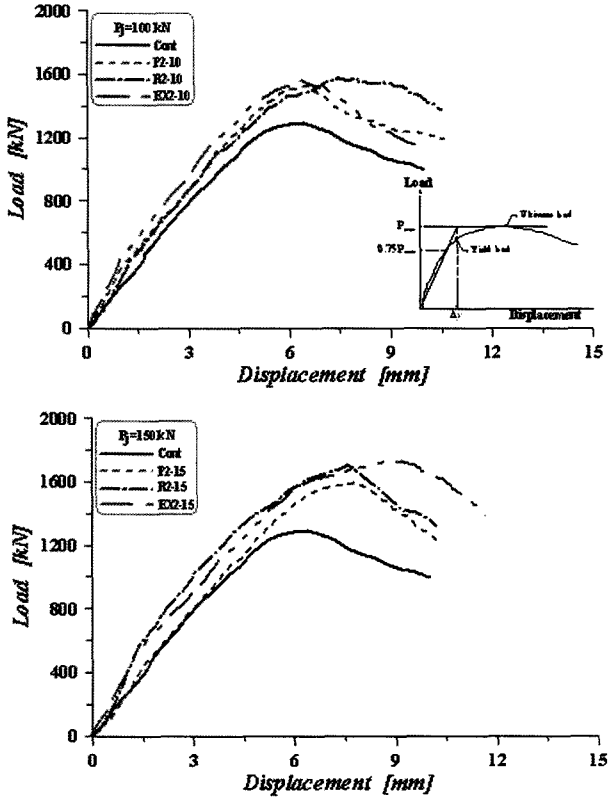


Fig. 8 Comparisons of the load-displacement relationships

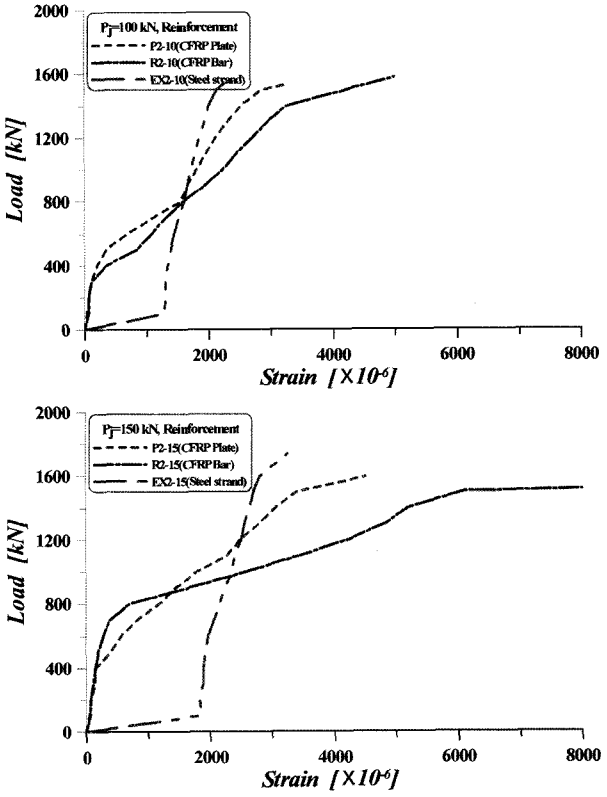


Fig. 9 Comparisons of the load-strain relationships of strengthening reinforcements

의 양상과 유사하였다. 하지만, P2-15 실험체의 경우 도입된 프리스트레스가 P2-10 실험체보다 큼에도 불구하고 P2-10 실험체보다 작은 하중에서 변형률 변곡점이 발생하였다. 이것은 앞서도 언급하였지만 에폭시와 콘크리트의 계면에서 계면 파괴가 진행되어 프리스트레스가 인장측 콘크리트에 제대로 가해지지 않아, 이로 인하여 인장측 콘크리트 단면의 인장저항을 증가시키지 못한 결과로 판단된다. Steel strand 보강재의 변형률 양상은 Fig. 9의 그래프를 살펴보면 알 수 있듯이 CFRP plate 및 CFRP bar 보강재와는 상이한 변형률 양상을 나타내었다.

CFRP plate 및 CFRP bar 보강재는 콘크리트와 보강재 사이의 계면을 에폭시로 부착함으로써 보강재의 단면적이 실험체의 단면의 일부분으로 치환되어 하중이 증가함에 따라 보강재 변형률도 증가하는 일체 거동을 하는 양상을 나타내었다. 하지만 steel strand 보강재는 콘크리트와 보강재 사이의 계면이 존재하지 않고 보강재가 실험체의 외부에 존재하기 때문에 일체거동을 하지 않는 것으로 나타났다.

Figs. 10과 11은 도입된 프리스트레스를 기준으로 control 실험체와 보강된 실험체들의 수평전단 및 수직전단 철근 변형률 분포를 비교하여 나타내었다. Control 실험체의 수평전단 철근은 초기균열 발생 시점을 시작으로 하여 급격한 변형률 증가를 보였다.

보강된 실험체들은 초기에는 (-) 변형률 형태를 띠다가 초기균열 발생 시점보다 지연된 하중 단계에서 급격한 변형률의 증가를 보였으며, 하중이 증가할수록 변형률도 같이 증가를 하는 양상을 나타내었다. 이것은 control 실

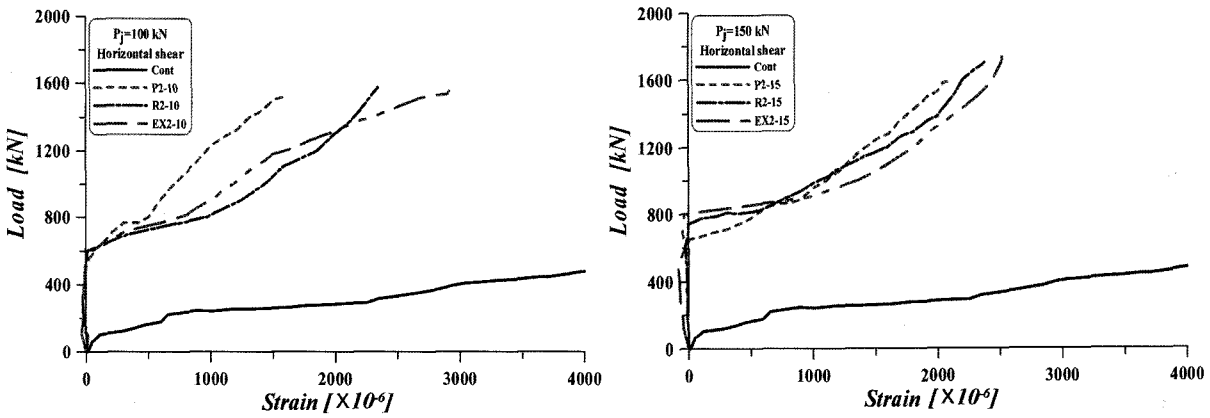


Fig. 10 Comparisons of the load-strain relationships of horizontal shear steel

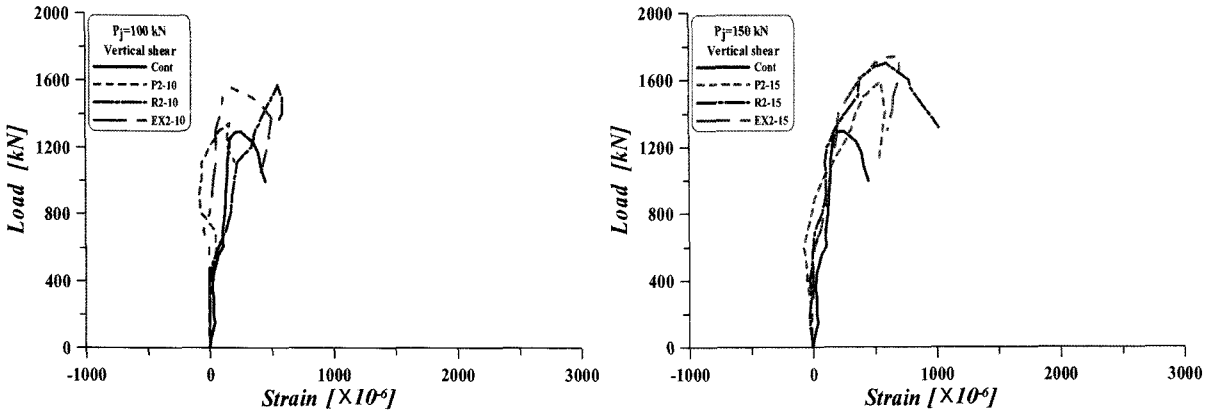


Fig. 11 Comparisons of the load-strain relationships of vertical shear steel

험체와 달리 보강된 실험체들은 초기에 도입된 프리스트레스로 인하여 수평전단 철근에 압축력이 도입되어 (-) 변형률이 발생되었고, 인장부의 인장저항의 증가로 인하여 수평전단철근의 변형률 변곡점을 상당히 지연시킨 것으로 나타났다. 프리스트레스 도입량이 클수록 이 변곡점은 더 지연되었다. 수직전단철근은 수평전단철근과 비슷한 양상을 나타냈지만, 그 크기가 크지는 않았다.

3.4 캔틸레버 단면에서의 변형률 분포

Fig. 12는 각 보강 실험체에 대해 위험 단면에서의 주요 하중 단계별 콘크리트 압축부, 수평전단철근, 보강재

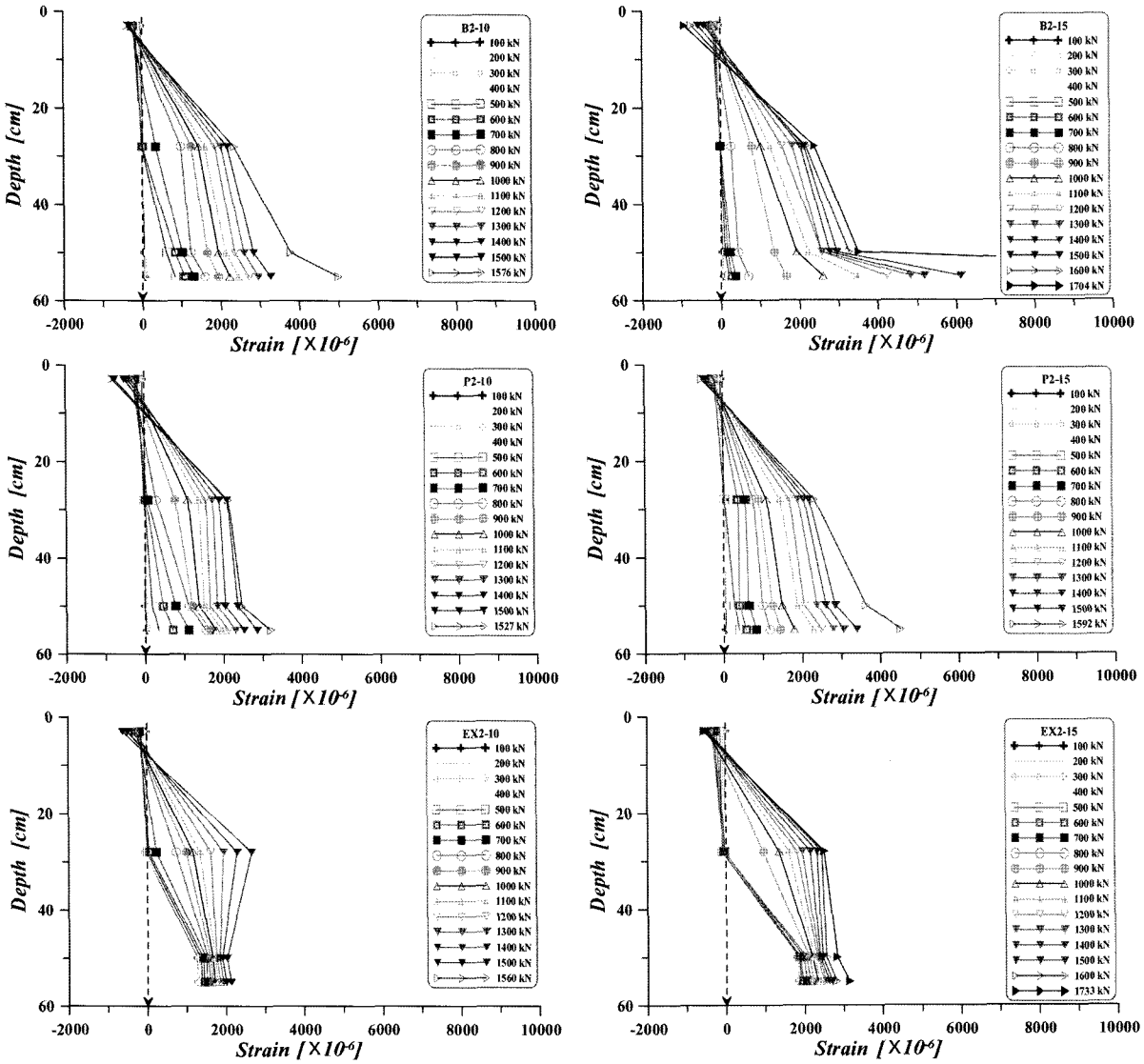


Fig. 12 Comparisons of the depth-strain relationships

의 변형률 분포를 나타내었다. 대부분의 실험체가 수평 전단철근 위치에서 균열 이후 선형을 벗어나 있는 것으로 측정되었다. 주요 하중 단계별 변형률의 증가폭을 살펴보면 CFRP plate 및 CFRP bar 보강재로 보강된 실험체는 보강재가 실험체의 일부분으로 거동함으로서 단면 내의 응력 부담을 보 강재가 받고 있는 것으로 나타났으나, steel strand 보강재로 보강된 실험체는 단면 내의 응력 부담을 보강재가 받지 못하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 실험에서 프리스트레스가 도입된 표면매립보강공법과 외부강선보강공법으로 보강된 실험체에 대한 보강 성능 실험을 실시하여 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 정적 재하 실험 결과 control 실험체에 비해 긴장량에 따라서 CFRP plate로 보강된 실험체는 17~22%, CFRP bar로 보강된 실험체는 21~31%, steel strand로 보강된 실험체는 22~33%로 극한하중이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 프리스트레스가 도입된 표면매립보강공법으로 구조물의 내하 성능 향상이 가능한 것으로 판단된다.
2) 외부강선보강 실험체와 프리스트레스가 도입된 표면매립보강 실험체를 비교한 결과 동일한 프리스트레스 도입 시 극한하중이 유사한 것으로 나타났다. 따라서 외부강선 보강공법의 유지, 보수 문제를 CFRP 보강재를 사용함으로써 보완할 수 있을 것으로 판단된다.
3) 본 실험에서 교각 두부는 전형적인 전단의 지배를 받는 구조물임을 알 수 있었다. 그러나 교각 두부의 인장력을 받는 부분의 보강과 함께 사인장균열에 저항할 수 있는 보강을 하면 보강 효과가 향상될 것으로 예상되며, 다양한 보강재 배치를 통한 최적화에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김성칠, 박성용, 이용섭, "T형 교각 머리부의 전단거동에 대한 실험적 연구", 산업기술종합연구소 논문집, 제 20집, 2000, pp.23~37.
2. 한국시설안전기술공단, 교각 코핑부의 안전성 평가 및 보수보강 매뉴얼, 한국시설안전기술공단, 2004, pp.7~17.
3. Asplund S. O., "Strengthening Bridge Slabs with Grouted Reinforcement", *Journal of the ACI*, Vol.20, No.6, 1949, pp.397~406.
4. 박재현, 홍성남, 박선규, 정우태, 박종섭, 박영환, "프리스트레스를 도입한 표면매립 FRP 보강보의 휨거동", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 17권 2호, 2005, pp.157~160.
5. 홍성남, 박준명, 박선규, 박종섭, 박영환, "프리스트레스를 도입한 표면매립 보강보의 휨거동에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 논문집, 18권 6호, 2006, pp.737~742.
6. Minnesota Department of Transportation Research, *Retrofitting Shear Cracks in Reinforced Concrete Pier Caps Using Carbon Fiber Reinforced Polymers*, Final Report, 2005, pp.7~22.
7. Barros, J.A.O. and Dias, S.J.E., "Near Surface Mounted CFRP Laminates for Shear Strengthening of Concrete Beams", *Cement & Concrete Composites*, Vol.28, No.3, 2006, pp.276~292.
8. Nanni, De Lorenzis and Tegola, A. La., "Flexural and Shear Strengthening of Reinforved Concrete Structures with Near Surface Mounted FRP rods", *Proceeding 3rd Iner. Conf. on Advanved Composite Materials in Bridges and Structures*, Ottawa, Canada, 2000, pp.512~528.
9. Nordin, H., Tljsten B., and Carolin, A., "Concrete Beams Strengthened with Prestressed Near Surface Mounted Reinforcement", *FRP Composites in Civil Engineering*, Vol.2, 2001, pp.1067~1075.

요 약 최근 CFRP (탄소섬유보강폴리머) 보강재를 이용한 콘크리트 구조물 보강이 교량 및 건축물 등에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 교각 두부 보강에 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP를 적용하였다. 적용된 공법의 효율성을 검증하기 위해 7개의 실험체를 제작하였으며, 기준 실험체, 외부 강선 보강 실험체, 탄소판 보강 실험체, 탄소 바 보강 실험체로 구성되어 있다. 보강재의 종류, 프리스트레스력의 크기를 실험 변수로 두어 실험을 하였으며, 실험 결과 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP 보강 실험체의 극한강도가 기준 실험체에 비해 약 20~33% 증가하는 것으로 나타났다. 또한 동일한 프리스트레스 도입량을 갖는 프리스트레스가 도입된 표면매립 CFRP 보강 실험체와 외부강선보강 실험체는 극한하중이 유사한 것으로 나타났다.

액심용어 : 표면매립, 교각 두부, 강연선, 탄소섬유보강폴리머