

고성능 유리섬유로 보강된 해상장대교량 교각의 보강성능평가

장준호* · 장광석**† · 이재욱**

*, ** 계명대학교 토목공학과

Performance Evaluation of Long Span Bridge Columns Strengthened with High-Performance Glass Fiber

Chun-Ho Chang* · Kwang-Seok Jang**† · Jae-Uk Lee**

*, ** Dept. of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea

요 약 : 기존의 해상교량 기둥의 외부보강에 따른 연구들은 현재까지 주로 중앙점 하중에 따른 성능을 평가하였다. 하지만, 장대교량의 기둥은 정확한 중심축을 기준으로 축하중을 받는 경우와 편심으로 인한 큰 모멘트가 동시에 작용하는 경우가 많이 발생한다. 이 연구에서는 해상장대교량의 고강도 철근콘크리트 기둥의 하중재하 위치와 2가지의 보강 재료인 탄소섬유 및 고성능 유리섬유를 각각 보강하여 그 효과를 분석하였다. 실험에 사용된 12개의 기둥 실험체는 모두 같은 크기로 제작 및 실험을 하였다. 그 중 6개 실험체의 횡보강 철근은 띠철근으로 배근하였으며, 그 외 6개의 실험체는 나선철근으로 배근하였다. 그리고 각각 3겹의 탄소섬유 및 고성능 유리섬유를 적용하여 감싸기 방법으로 보강하였다. 실험변수는 하중재하 위치에 따른 철근의 보강형태 및 보강재료가 고려되었다. 실험결과, 편심축에 따른 하중재하 기둥부재는 중심축 하중재하에 비해 최대 파괴하중이 감소하였지만 고성능 유리섬유를 보강한 기둥부재는 축하중 및 편심하중에서 탄소섬유를 보강한 경우보다 내력파연성이 우수하였다.

핵심용어 : 철근콘크리트 기둥, 축하중, 편심하중, 탄소섬유, 고성능 유리섬유, 섬유래핑

Abstract : Researches and studies which have been conducted so far on external confinement of long span concrete columns have mainly concentrated on concentric loading. But, long span bridge concrete columns over the sea are mainly subjected to concentrated axial load, and at the same time large amount of moment by eccentric load. This paper experimentally investigates the performance of externally confined high-strength concrete columns subjected to loading mechanism and evaluates the effectiveness of two confinement materials carbon fibre and high performance glass fibre. Twelve short columns with the same dimensions were cast and tested. Six columns were reinforced with hoop bars, the remaining six columns were reinforced with spiral bars and wrapped with three layers of carbon FRP and high performance glass FRP sheets. Test variables considered were the shape of internal reinforcement and strengthening materials according to loading location. The experimental results showed that eccentric load could obviously lower down the maximum failure load of FRP-confined concrete columns, compared with the columns under concentric load. And compared with the carbon FRP-confined reinforced concrete columns, high performance glass FRP-confined columns displayed a higher load capacity and ductility, when tested both concentrically and eccentrically.

Key Words : Reinforced concrete columns, Concentric loading, Eccentric loading, Carbon fiber, High performance glass fiber, FRP-Wrapping

1. 서 론

최근 건설기술의 발달과 함께 우수한 강도 및 내구성을 지닌 고강도 콘크리트가 해상장대교량에 경제적 측면에서 많이 사용되어지고 있다. 하지만 고강도에 따라 기둥의 극한강도도 함께 증가되지만 상대적으로 취성파괴양상이 나타나는 단점이

있다. 이는 고강도 콘크리트의 연성능력의 부족이 취성 파괴를 초래하는 중요한 요인이 되고 있다(Razvi and Saatcioglu, 1994).

기존 연구(Hadi and Li, 2004)에 의하면 압축 보강 및 횡구속은 재료의 강도증가 뿐만 아니라 효과적으로 연성이 증가되는 것으로 알려져 있으며 그중에서도 나선형 철근이 효과적이라는 것이 많은 실험을 통해 입증되었다. 그래서 기둥의 횡구속을 통한 기둥의 외부보강 공법 등이 많이 개발되었고, 그 중 강재를 이용한 Steel jacketing이 많이 시공되었으나 부식성 및 피로저하 등의 문제점이 대두되었다. 이를 대체할 수 있는

* 대표저자 : 정희원, chunho@knu.ac.kr, 053-580-5299

† 교신저자 : 정희원, jksek@knu.ac.kr, 053-580-6704

차세대 소재로써 섬유강화폴리머(FRP)가 높은 인장강도와 경량의 장점을 가지고 실무에 많이 활용되고 있다(장 등, 2009).

섬유강화폴리머를 활용한 FRP-Wrapping 보강법에 사용되는 섬유는 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유 등이 적용되고 있다. 건설 분야에 많이 쓰이는 탄소섬유는 Fig. 1과 같이 유리섬유에 비하여 인장강도가 우수하나 연성이 부족하며, 또한 고가이므로 비경제적인 문제점을 갖고 있다. 따라서 유리섬유의 경제성과 탄소섬유의 우수한 특성을 가진 고성능 유리섬유에 대한 연구 및 개발이 시도되고 있는 실정이다(Owens Corning Inc, 2008).

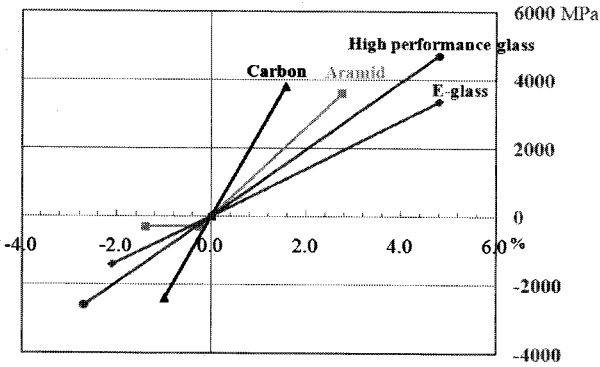


Fig. 1. Typical stress-strain curves of fiber.

기존의 해상교량 철근 콘크리트 기둥 외부보강에 따른 연구들은 현재까지 주로 중앙점 재하에 따른 보강 성능을 평가하였지만 해상장대교량의 경우 편심하중으로 인한 휨모멘트 증가에 대한 성능보강 연구는 부족한 실정이다(Li and Hadi, 2003). 현재 시공된 많은 기둥 부재는 편심 하중에 의한 회전력에 따른 축내력이 저하되고 있어 기둥의 내력증가를 위한

편심하중을 받는 부재의 실용적인 보강적용이 필요하다(Demer and Neale, 1999).

따라서 본 연구에서는 중심축하중 및 편심축 하중을 받는 해상교량 기둥부재를 상정하여 기존의 탄소섬유와 새롭게 개발된 고성능 유리섬유를 적용하여 보강성능을 평가하고 보강재로써의 효과를 검토하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 실험개요

탄소섬유 및 고성능 유리섬유로 횡구속 보강된 원형기둥의 중심축과 편심축 재하에 따른 구조적 성능을 실험을 통해 비교·평가하고자 한다. 무보강 실험체 4개를 포함한 총 12개의 원형기둥 실험체를 제작하였으며, 하중재하 위치에 따른 보강재의 종류별 효과를 확인하기 위하여 모든 실험체를 같은 규격으로 제작하였다. 본 실험에 사용된 실험체의 변수는 Table 1에, 실험체의 명명법은 Fig. 2에 나타내었다. 탄소섬유 및 일반 유리섬유를 기둥에 적용한 Hadi(2006)의 연구결과와 비교하기 위하여 지름이 200mm 원형단면을 가진 높이 925mm의 기둥을 제작하였다. 철근의 형상에 따른 보강 성능을 비교·평가하기 위해 띠철근, 나선철근의 두 가지 형태로 결정하고 주철근(D13)을 총 6개를 배치하였으며, 횡보강 철근(D10)은 60mm 간격으로 배치하였다. 본 실험에 사용된 실험체의 형상은 Fig. 3에 나타내었으며 실험체는 띠철근과 나선철근 제작 및 횡보강 철근 조립, 콘크리트 타설 및 다짐, 강도 발현을 위한 28일 콘크리트양생 순으로 진행되었다.

보강 재료의 적용은 콘크리트의 타설 28일이 경과한 후 콘크리트 표면은 레이턴스를 완전히 제거하고 부착면은 그라인더를 사용하여 표면처리 작업을 하였다. 표면처리 후 미세면

Table 1. Type of the test columns

f_c	Type of internal reinforcement	Loading mechanism	Strengthening materials	Strengthening thickness	Column specimens
65MPa	Tie	Concentric load	Non-Strengthening	-	65-T-C-R
			Carbon fabric	5 layers(0.9mm/1ply)	65-T-C-C
			High performance glass fabric	3 layers(1.48mm/1ply)	65-T-C-H
		Eccentric load (e=25mm)	Non-Strengthening	-	65-T-E-R
			Carbon fabric	5 layers(0.9mm/1ply)	65-T-E-C
			High performance glass fabric	3 layers(1.48mm/1ply)	65-T-E-H
	Helix	Concentric load	Non-Strengthening	-	65-H-C-R
			Carbon fabric	5 layers(0.9mm/1ply)	65-H-C-C
			High performance glass fabric	3 layers(1.48mm/1ply)	65-H-C-H
		Eccentric load (e=25mm)	Non-Strengthening	-	65-H-E-R
			Carbon fabric	5 layers(0.9mm/1ply)	65-H-E-C
			High performance glass fabric	3 layers(1.48mm/1ply)	65-H-E-H

지를 제거한 후 프라이머를 도포하여 부착력을 높이고 각 섬유시트를 부착 한 후 섬유와 수지와의 혼합되는 과정에서의 기포 발생을 억제하기 위하여 물리를 사용하여 함침하였으며, 보강 한 후 7일간의 경화를 거쳐 실험을 실시하였다.

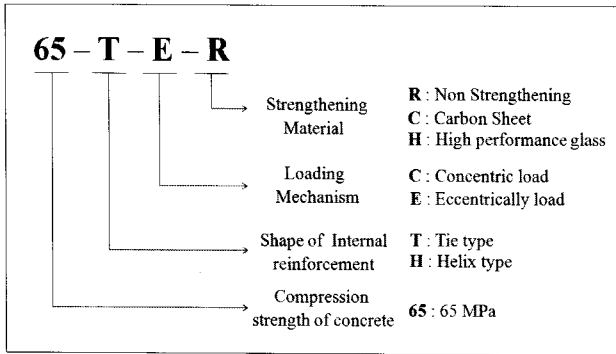


Fig. 2. Naming of the Specimens.

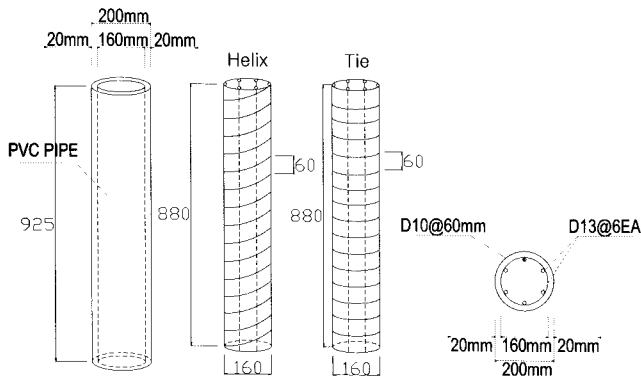


Fig. 3. Details of reinforcement.

FRP-Wrapping의 보강두께는 Hadi(2006)의 실험결과와 비교하기 위하여 Table 1과 같이 탄소섬유의 경우 4.5mm, 고성능 유리섬유의 경우 4.44mm로 적용하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 콘크리트 및 철근

실험체 제작에 사용되는 콘크리트는 설계기준강도 65MPa를 기준으로 배합하였다. 콘크리트 타설 시 압축강도 시험용 공시체 몰드를 취득하여 KS F 2405(한국표준협회, 2005)에 의하여 28일 강도를 측정하였으며, 측정결과를 이용하여 평균값을 구하였다. 실험결과를 정리하면 Table 2와 같다. 그리고 주철근과 띠철근은 Hadi(2006)의 실험결과와 비교하기 위하여 각각 D13, D10을 사용하였다. 철근의 재료적 성질은 Table 3과 같다.

Table 2. Cylinder compression test results(28 day)

Cylinder 1	Cylinder 2	Cylinder 2	Average
69.4	66.6	68.1	68.0

Table 3. Material properties of steel

Type	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
D13	402.5	668.5	2.04×10^5
D10	455.0	628.5	1.95×10^5

2.2.2 탄소섬유 및 고성능 유리섬유

본 실험에서 사용된 탄소섬유는 Photo 1과 같이 C사의 Carbon sheet를 사용하였으며 고성능 유리섬유는 O사의 High-performance glass sheet를 사용하였다. 탄소섬유의 경우 단일 방향성을 가지며, 고성능 유리섬유의 경우 평직형태로써 2방향 직교 섬유배열 특성을 갖고 있다. 각 재료의 물성은 Table 4와 같다.

Table 4. Material properties of fibres

Properties	Carbon	High-performance glass
Tensile strength (MPa)	2,800	3,150
Modulus of elasticity (GPa)	240	90
Combustion rate (%)	1.75	3.8

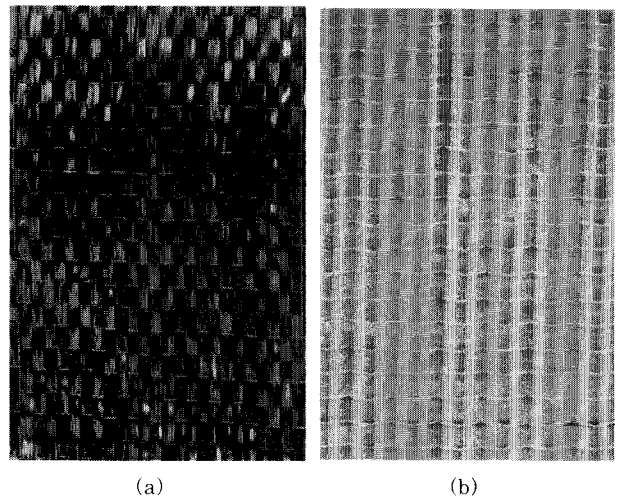


Photo 1. Two types of fibres (a) unidirectional carbon fibres, (b) plain weave high-performance glass fibres.

2.2.3 Epoxy

본 실험에 사용된 Epoxy는 H사의 제품을 사용하였으며, 재료의 성질은 Table 5와 같다.

Table 5. Material properties of Epoxy

Name	Tensile strength (MPa)	Compression strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Shear strength (MPa)
Epoxy	63.8	69.5	79	234

2.3 실험방법

2.3.1 실험계획

탄소섬유 및 고성능 유리섬유로 황구속 보강된 원형기둥의 보강성능 실험을 위해 용량이 5MN UTM(Universal Test Machine)인 SHIMADZU사의 대형부재구조시험기를 사용하였으며 중심축 하중재하는 평판 프레임 지그를 UTM 상단에 부착하여 가력하였다. 편심축 하중재하는 압축파괴 영역에 위치하도록 실험체의 균형편심 이내인 25mm로 결정하여 Fig. 4와 같은 편심 가력장치를 제작하여 1.0mm/min의 속도로 변위제어 방법으로 가력하였다. 이 연구에 사용된 편심하중재하 장치는 원형 플레이트 2개의 세트의 구성되어 있다. Fig. 4와 같이 상부 플레이트는 두께 25mm 원형 강판과 플레이트 하부의 삼각형 크로스 섹션에 의해 편심하중이 가력되도록 하였다. Photo 2와 같이 제작된 편심가력장치는 실험체의 상·하 단부에 설치하여 실험을 수행하였다.

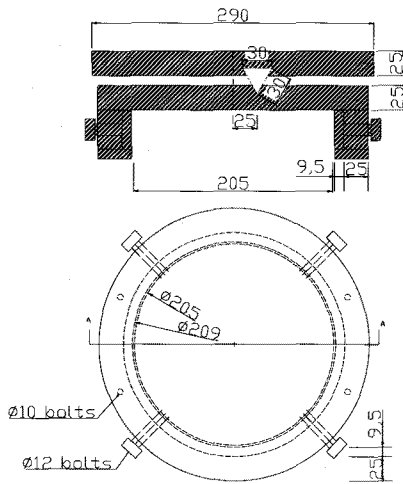
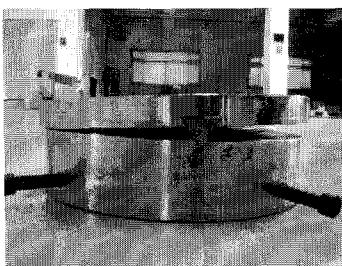
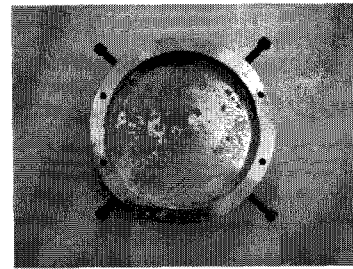


Fig. 4. The developed eccentric loading mechanism.



(a) Plate with knife edge



(b) Adaptive plate

Photo 2. Plates for eccentric.

기존의 편심축 하중재하 실험은 편심하중을 가하기 위해 실험체의 상·하 단부의 영역을 편심축 길이에 따른 'c'형태로 단부를 확대하여 제작하였으며, 실험결과 신뢰성 및 지점부의 파괴양상의 부정확함 등 여러 가지 단점을 내포하고 있다 (Hadi and Li, 2004). 이에 선행 연구(Hadi, 2006)된 편심 가력장치를 제작하여 기존의 편심 가력장치보다 효율적이며 실험체의 상·하 단부에 균일한 편심 하중을 가하도록 하였다. 실험체의 축방향 변위를 측정하기 위하여 Linear Variable Displacement Transducers(이하 LVDT)를 설치하였으며 데이터는 50개의 채널을 보유한 UCAM-500A를 사용하여 하중, 변위를 취득하였다. Fig. 5는 실험전경을 나타낸 것이다.

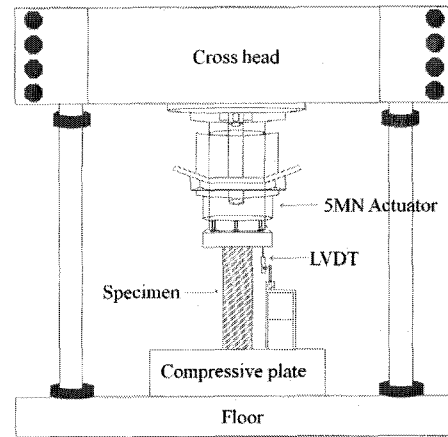


Fig. 5. Test set-up.

3. 실험결과

3.1 파괴양상

실험결과로 나온 각 실험체의 최대하중, 최대변위, 무보강 대비 하중증가율 및 파괴양상을 Table 6에 정리하여 나타내었다. 중심축 재하의 나선철근 무보강 실험체(65-H-C-R)는 1,423kN에서 피복 콘크리트 탈락으로 인한 1차 균열 발생 후 단부 파괴가 발생하였으며, 최대하중 1,623kN 이후 락철근 무보강 실험체(65-T-C-R)보다는 상·하 단부의 균열이 다수 발생되었다. 이것은 보강재의 구속효과에 따른 것으로 보강재의 파단 이후 콘크리트의 압괴에 의한 것으로 판단된다. 중심



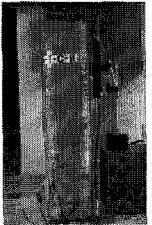


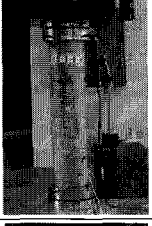


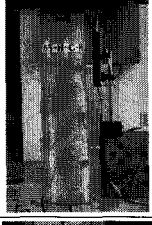

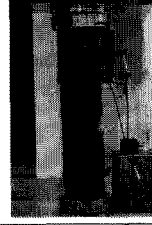

고성능 유리섬유로 보강된 해상장대교량 교각의 보강성능평가

축재하의 나선철근 탄소섬유 보강 실험체(65-H-C-C)는 1,387kN의 하중에 도달 한 후 보강재가 박리되는 미세한 소리가 발생하였으며, 그 후 보강재의 박리가 진전되다가 최대하중 1,729kN에서 박리 부위가 확대되어 최종파괴 되었다. 무보강 실험체와 비교하여 6.53%의 내력 증가 및 8.15mm의 변위 증가를 보였다.

중심축 재하의 나선철근 고성능 유리섬유 보강 실험체(65-H-C-H)는 파괴하중이 1,944kN로 실험체 중 내력이 가장

도달한 이후 급격한 취성파괴가 나타났다. 중심축재하의 나선 철근 탄소섬유 보강 실험체(65-T-C-C)는 가력 하중이 증가할 수록 보강재 내부에서 섬유가 파단 되는 소리가 발생하면서 보강된 탄소섬유의 후프(Hoop) 형태의 파단이 발생하였다. 이는 탄소섬유의 배열이 일방향 단섬유로 콘크리트의 팽창에 의한 것으로 판단된다. 중심축재하의 띠철근 고성능 유리섬유 보강 실험체(65-T-C-H)는 1,792kN까지 큰 변위가 발생하면서 서서히 하중이 증가하였다. 실험체 단부의 보강재는 파단

Table 6. Test results for experiment

Test column series	Eccentricity (mm)	Ultimate load (kN)	Eccentric moment (kN·mm)	Ultimate deflection (mm)	Pmax /Pcontrol (%)	Non retrofitted (R-Series)	Carbon (C-Series)	High performance glass (H-Series)
65-T-C-R	-	1,496.52	-	1.74	-			
65-T-C-C		1,662.89	-	7.45	111.1			
65-T-C-H		1,885.62	-	12.98	126.0			
65-T-E-R	25	904.25	22.606	7.23	-			
65-T-E-C		1,248.45	31.211	7.91	138.0			
65-T-E-H		1,320.25	33.006	14.07	146.0			
65-H-C-R	-	1,622.54	-	6.38	-			
65-H-C-C		1,728.57	-	8.15	106.5			
65-H-C-H		1,944.12	-	13.49	119.8			
65-H-E-R	25	1,036.12	25.903	7.29	-			
65-H-E-C		1,347.54	33,688	11.84	130.0			
65-H-E-H		1,428.35	35,708	26.24	137.9			

Note) 65 : Compression strength of concrete(MPa) T : Tie type H : Helix type C : Concentric loading E : Eccentrically loading R : Non strengthening C : Carbon sheet wrapping H : High performance glass sheet wrapping

증가하였다. 하중이 증가함에 따라 시험체의 상·하 단부 균열이 발생되었고 그 후 중앙부로의 균열이 서서히 진행되었다. 본 실험체는 무보강 실험체의 파괴양상과 비교할 때 횡구속 보강재(고성능 유리섬유)에 의해 연성파괴가 발생한 것으로 판단된다. 이는 무보강 나선철근 실험체와 비교하여 19.82%의 하중증가 및 13.49mm의 변위증가가 나타났다.

중심축재하의 띠철근 무보강 실험체(65-T-C-R)는 1,324kN에서 실험체의 단부파괴가 발생하였으며, 하중이 1,497kN에

이 아닌 변형에 의해 박리되었으며 무보강 실험체와 비교하여 약 26%의 내력증대 및 12.98mm의 변위증가를 보였다.

편심축재하의 나선철근 무보강 실험체(65-H-E-R)는 최대하중이 1,036kN으로 나타났다. 이 실험체는 좌굴에 의한 콘크리트 단부의 피복박리가 발생하였고 중앙부 균열에 의해 최종 파괴되었다. 중심축재하 실험체의 최대하중과 비교하여 약 60.4% 감소하였다. 편심축재하의 나선철근 탄소섬유 보강 실험체(65-H-E-C)는 최대하중이 1,348kN이었고, 이후 좌굴에

의해 탄소섬유 보강재가 후프(Hoop)형태의 파단이 발생하였다. 중심축재하 실험체와 비교하여 약 22%의 하중감소 및 11.84mm의 변위증가를 보였다. 편심축재하의 나선철근 고정능 유리섬유 보강 실험체(65-H-E-H)는 최대하중 1,428kN으로 나타났으며, 최대변위가 26.24mm로 모든 실험체 중 가장 큰 변위가 발생하였다. 이는 하중에 따른 기둥의 큰 변형이 발생하였으나 고성능 유리섬유의 높은 연성능력에 의해 기둥 전체의 거동에 영향을 미친 것임을 알 수 있다. 편심축재하의 띠철근 무보강 실험체(65-T-E-R)는 최대하중 904kN이었고 실험체 중앙부의 균열이 발생 한 후 파괴되었다. 편심축재하의 띠철근 탄소섬유 보강 실험체(65-T-E-C)는 최대하중 1,248kN으로 나타났으며, 중심축 재하 실험체의 최대하중과 비교하여 약 25% 감소하였다. 편심축 재하의 띠철근 고성능 유리섬유 보강 실험체(65-T-E-H)는 최대하중이 1,320kN이었으며, 최대하중에 도달한 이후에도 많은 변위가 발생하여 고성능 유리섬유 보강재는 편심 하중을 받는 기둥부재의 강도증진과 함께 연성파괴를 유도하는데 효과적인 것을 알 수 있다.

3.2 하중-변위 관계

하중가력 위치에 따른 각 실험체(65-H-C/E-Series, 65-T-C/E-Series)의 하중-변위 곡선을 Fig. 6~9에 각각 나타내었다. Fig. 6과 Fig. 7은 중심축 재하 실험체인 65-H/T-C-Series의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 중심축 재하 실험체인 65-H/T-C-Series의 하중-변위 곡선에서 보강재의 종류에 따른 무보강 실험체와의 비교를 통하여 탄소섬유 및 고성능 유리섬유를 보강한 실험체의 최대하중이 증가한 것을 알 수 있다.

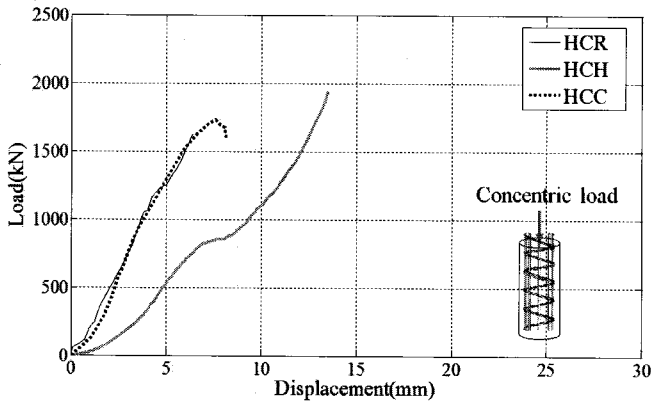


Fig. 6. Load-displacement curves under concentric load (65-H-C-Series).

고성능 유리섬유를 보강한 실험체(65-H-C-H)의 경우 Fig. 6과 같이 축방향 변위가 7.95mm 이후 강성이 증가하는데, 이는 섬유적층 시 실험체와 보강시트와의 부착공극에 의한 영향으로 콘크리트의 팽창 이후 보강섬유의 구속효과가 나타난 것으로 판단된다. 따라서 구조물에 대한 보강섬유의 적용 시 시공의 영향을 반드시 고려해야 해야 한다고 판단된다.

탄소섬유를 보강한 실험체의 나선철근과 띠철근 횡보강의

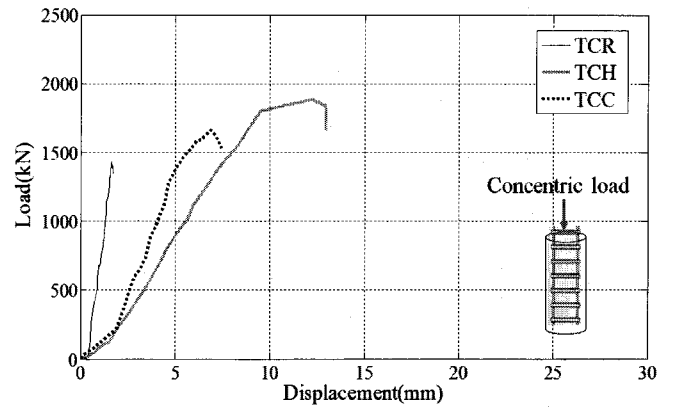


Fig. 7. Load-displacement curves under eccentric load(65-T-C-Series).

최대내력 차이는 크게 나타나지 않았으나 고성능 유리섬유를 보강한 실험체는 탄소섬유 보강 실험체와 비교하였을 때 최대내력에 대한 변위비 측면에서 연성보강효과가 나타났다. 이는 고성능 유리섬유를 적용할 경우 기존 탄소섬유의 강도증진 효과가 뿐만 아니라 연성보강 효과를 동시에 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

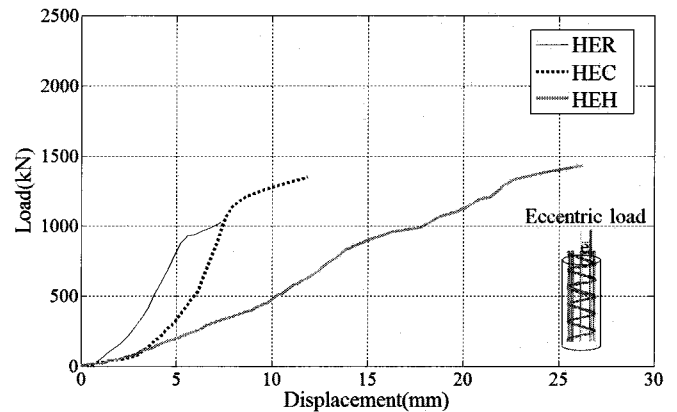


Fig. 8. Load-displacement curves under concentric load(65-H-E-Series).

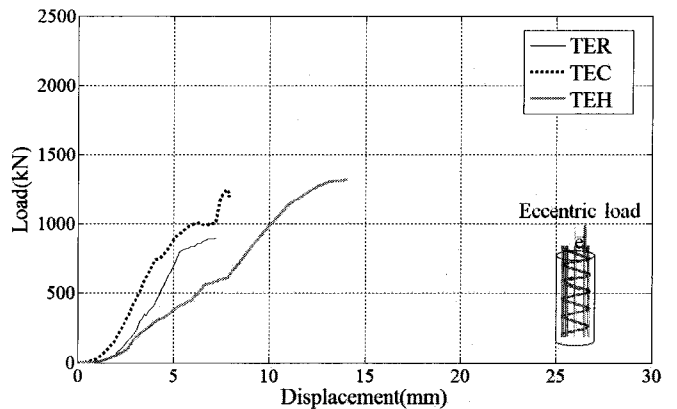


Fig. 9. Load-displacement curves under eccentric load (65-T-E-Series).

편심축 재하 실험체인 65-H/T-E-Series의 하중-변위 곡선을 Fig. 8과 Fig. 9에 각각 나타내었다. 중심축 재하 보강재의 종류에 따른 보강효과는 무보강 실험체와 비교하여 최대하중이 모두 증가하는 것으로 나타났다. 또한 편심축 재하 실험체의 최대변위는 좌굴 발생의 영향으로 중심축 재하 실험체보다 모두 크게 나타났다.

3.3 보강재의 종류에 따른 내력 증가율

보강재의 종류에 따른 실험체의 최대내력 증가율을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 고성능 유리섬유 보강 기둥은 중심축 하중재하 시 탄소섬유 보강 기둥과 비교하여 평균 14.1%의 내력이 증가하였으며, 편심축 하중재하 시 평균 8.0%의 내력이 증가하였다. 이는 중심축하중 뿐만 아니라 편심하중이 발생하는 기둥부재에 고성능 유리섬유를 적용할 경우 기존의 탄소섬유에 비해 내력증대의 효과가 있는 것으로 판단된다.

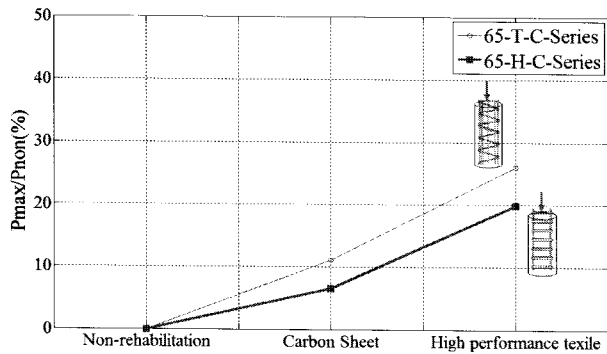


Fig. 10. Pmax/Pnon-reinforcements curves of under concentric load(65-T/H-C-Series)

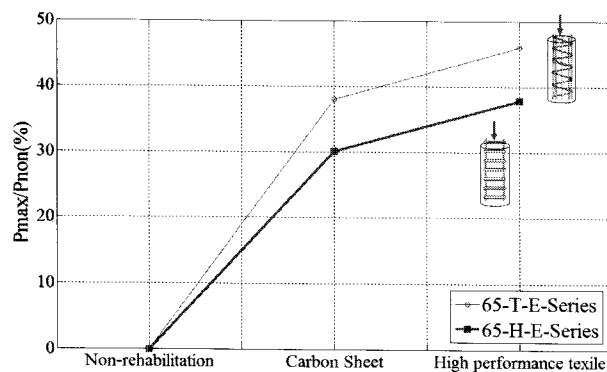


Fig. 11. Pmax/Pnon-reinforcements curves under eccentric load(65-T/H-E-Series)

3.4 하중가력 위치에 따른 최대내력

중심축 하중재하와 편심축 하중재하에 따른 최대내력을 Fig. 12에 나타내었다. 편심축 재하의 경우 편심에 의한 모멘트가 발생하게 됨에 따라 중심축 재하와 비교하여 실험체의 최대내력은 평균 37% 정도 감소되었음을 알 수 있다. 편심축 하중재하에 따른 최대내력의 감소율이 가장 큰 실험체는 나선

철근 무보강 실험체(65-H-E-R)로 중심축 하중재하 실험체(65-H-C-R)와 비교하여 약 59%의 최대내력이 감소되었다. 편심축에 따른 보강효과는 나선철근 고성능 유리섬유 보강 실험체(65-H-E-H)의 최대내력이 1,248kN으로 가장 우수한 보강효과가 나타났다.

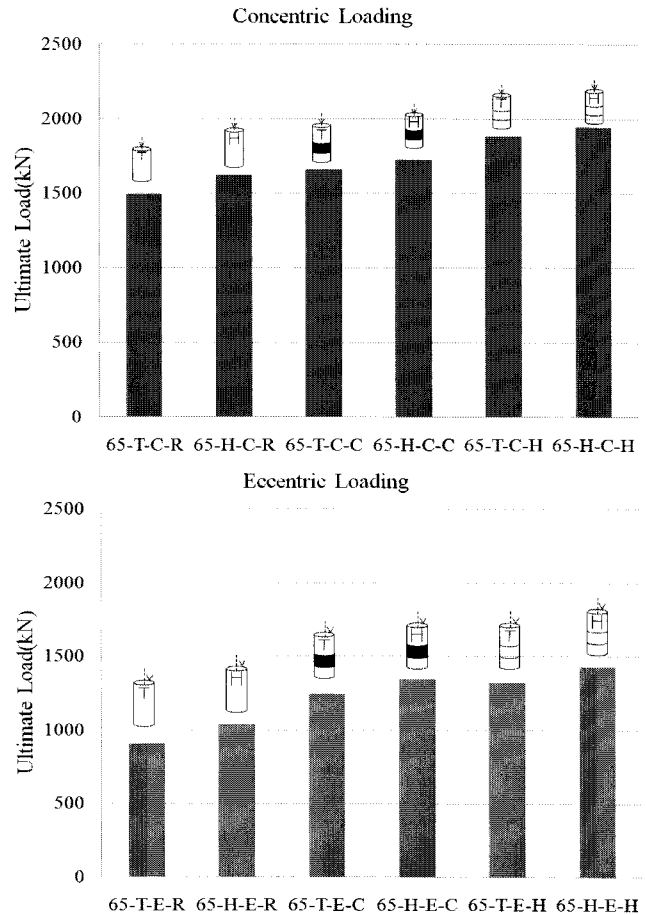


Fig. 12. Comparison of maximum stress in loading mechanism.

편심축 하중을 받는 보강 실험체의 경우 중심축 하중에 비해 섬유보강재에 따른 성능개선 효과가 우수하다는 것을 알 수 있다. 이는 편심이 발생하는 기둥부재의 경우 축력으로 인한 좌굴보다 휨거동의 영향이 크다. 따라서 섬유보강재가 중심축 재하를 받는 기둥의 팽창력 구속효과보다는 편심축 하중으로 인한 모멘트 팽창력을 구속하는 효과가 더 크기 때문이라고 판단된다.

3.5 횡보강 철근의 효과

횡보강 철근의 종류에 따른 최대응력-보강재종류 그래프를 Fig. 13과 Fig. 14에 각각 나타내었다. 띠철근과 나선철근 실험체의 횡구속 효과를 비교한 결과, 나선철근에 의한 기둥부재의 횡구속 효과가 띠철근에 의한 횡구속 효과보다 약 10% 우수함을 알 수 있다. 이는 축하중에 대한 횡변위 거동에서

보강재에 의한 기둥의 심부콘크리트 구속력은 나선철근이 띠철근보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 선행 연구(Hadi and Li, 2004)된 고강도 콘크리트 부재 성능 개선에는 띠철근 보다 나선형 철근이 효과적이라는 것을 검증하였다.

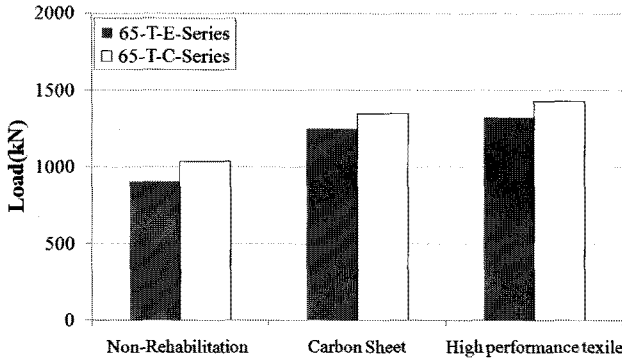


Fig. 13. Maximum load of ties internal reinforced concrete column.

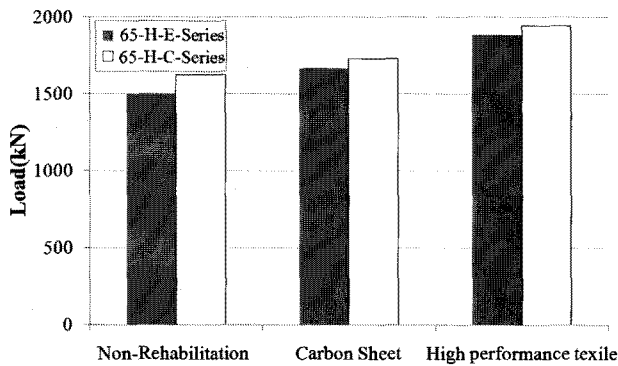


Fig. 14. Maximum load of helix internal reinforced concrete column.

4. 기존 연구 결과와 실험결과와의 비교

기존의 연구는 편심하중을 받는 나선형 철근으로 황보강된 고강도 콘크리트 기둥에 대하여 탄소섬유 및 일반 유리섬유의 보강성능을 평가하였다. 기존 섬유 보강재와 고성능 유리섬유 보강재의 보강 성능 효과를 분석하기 위해 Hadi(2006)의 결과와 비교하였다. 서로 다른 보강재에 따른 효과를 비교하기 위하여 기존 연구의 실험체와 같은 단면으로 제작하였다. 각 보강재에 대한 중심축 및 편심축 하중 재하에 따른 내력증가율을 비교하여 Fig. 15와 Fig. 16에 각각 나타내었다.

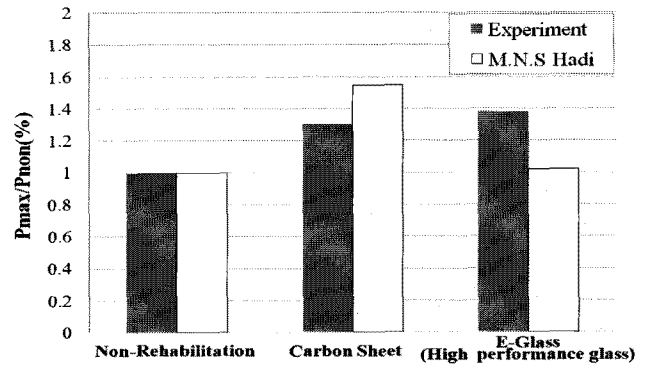


Fig. 15. Comparison of experiment with earlier study for increasing rate of maximum load under concentric load.

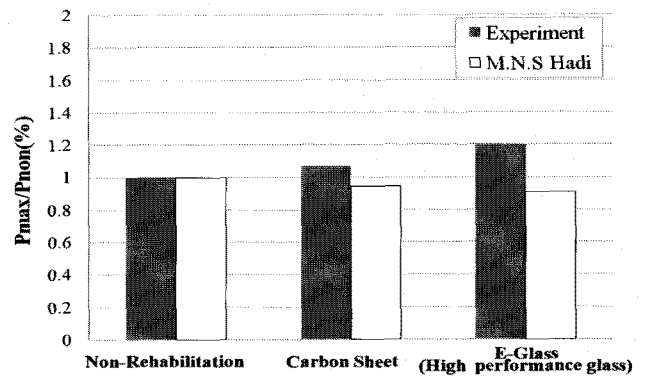


Fig. 16. Comparison of experiment with earlier study for increasing rate of maximum load under eccentric load.

Hadi(2006)의 실험결과 중심축 하중 재하 시 일반 유리섬유 보강 실험체의 보강효과는 거의 나타나지 않았으며 탄소섬유 보강 실험체는 무보강 실험체와 비교하여 약 1.5배의 최대내력이 증가된 결과를 나타내었으나, 본 연구의 고성능 유리섬유 보강효과는 무보강 실험체와 비교하여 약 1.4배의 최대내력이 증가하였다. 이는 기존의 탄소섬유와 비교하여 고성능 유리섬유의 적용에 대한 성능효과를 기대할 수 있으며, 최대내력 뿐 아니라 연성적 거동 면에서는 그 이상의 효과를 기대할 것으로 판단된다.

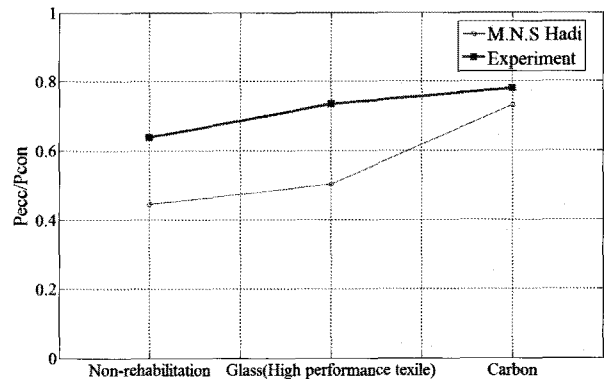


Fig. 17. Comparison of experiment with earlier study (Concentric/Eccentric of maximum load).

중심축 하중재하와 편심축 하중재하에서의 내력증가에 대해 Fig. 17에 나타내었다. 탄소섬유의 경우, 중심축에 따른 실험체의 내력과 비교하여 편심축에 의한 실험체의 최대내력 증가는 본 연구의 실험결과와 유사하게 나타난 것을 알 수 있다. Hadi(2006)의 실험결과는 일반 유리섬유 보강 실험체 보다 탄소섬유 보강 실험체의 편심에 따른 최대내력이 약 25% 증가하였다. 본 실험결과의 경우 편심축 하중에 따른 고성능 유리섬유 보강 실험체의 최대내력이 탄소섬유 보강 실험체보다 우수하였다. 이는 기존의 유리섬유를 개선한 고성능 유리섬유를 적용함으로써 탄소섬유 이상의 보강 효과가 나타난 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 실험에서는 해상장대교량의 중심축하중 및 편심축 하중을 받는 기둥 부재에 탄소섬유와 고성능 유리섬유를 적용하여 내력의 보강성능을 평가하고 보강재로서의 효과를 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고성능 유리섬유 보강 기둥은 편심축 하중재하 시 탄소섬유 보강 기둥과 비교하여 평균 8.0%의 내력증대 효과가 있었다. 이는 편심하중을 많이 받는 해상장대교량에 고성능 유리섬유를 적용할 경우 기존의 탄소섬유에 비해 내력증대 뿐만 아니라 연성증대의 성능향상이 있을 것으로 판단된다.
- 2) 편심축 하중에 따른 탄소섬유 및 고성능 유리섬유의 보강 효과는 중심축 하중재하 시의 보강효과와 비교하여 최대하중이 각각 25.2%, 19.1% 증가되었다. FRP-Wrapping에 의해 외부 구속된 기둥은 중심축하중에 비하여 편심하중에 대한 횡구속 효과의 범위가 큰 것으로 사료된다.
- 3) 나선형 철근 보강 실험체는 띠철근 보강 실험체와 비교하여 보강재에 따른 횡구속 효과가 최대 8% 증가되었으며 최대내력은 10% 증가하였다. 따라서 고강도 콘크리트 기둥의 FRP-Wrapping 보강효과도 나선형 횡보강 철근이 띠철근 횡보강에 비해 내력 증대에 더욱 효과적인 것으로 판단된다.
- 4) 선행 연구와 비교한 결과, 고성능 유리섬유 보강 실험체의 편심축에 대한 최대내력은 탄소섬유 보강 실험체보다 증가하였다. 이는 기존의 유리섬유를 개선한 고성능 유리섬유를 적용하여 향후 실제 해상장대교량의 기둥에 보강하였을 경우 보강성능효과의 가능성이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 과제인 해안구조물에 대한 친환경 친

소재의 활용기술로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 국토해양부에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 장준호, 장광석, 이재욱, 이치우, 신흥영, 김기홍(2009), 개선된 유리강화 섬유를 활용한 기둥의 내진성능, 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, Vol. 13, pp. 129-136.
- [2] 한국표준협회(2005), KS F 2405, 콘크리트의 압축 강도 시험 방법, pp. 1-6.
- [3] Demer, M. and K. W. Neale (1999), Confinement of reinforced concrete columns with fibre-reinforced composite sheets an experimental study, Journal of Civil Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 226 - 241.
- [4] Hadi, M. N. S.(2006), Comparative study of eccentrically loaded FRP wrapped columns, Journal of Composite Structure, Vol. 74, pp. 127 - 135.
- [5] Hadi, M. N. S. and J. Li (2004), External reinforcement of high strength concrete columns, Journal of Composite Structure, Vol. 65, No. 3, pp. 279 - 287.
- [6] Li, J and M. N. S. Hadi(2003), Behaviour of externally confined high strength concrete columns under eccentric loading, Journal of Composite Structure, Vol. 62, No. 2, pp. 145 - 153.
- [7] Owens Corning Inc.(2008), High-performance reinforcements, February, pp. 12.
- [8] Razvi, SR. and M. Saatcioglu(1994), Strength and deformability of confined high strength concrete columns, Journal of ACI Structure, Vol. 91, No. 6, pp. 678 - 687.

원고접수일 : 2010년 01월 18일

원고수정일 : 2010년 02월 16일 (1차)

: 2010년 03월 15일 (2차)

게재확정일 : 2010년 03월 24일