

# 유리섬유 보강 원형 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 준정적 실험연구

Quasi-Static Test for Seismic Performance of Circular R.C. Bridge  
Piers Before and After Retrofitting



정 영 수\*

Chung, Young-Soo



이 강 균\*\*

Lee, Kang-Kyun



한 기 훈\*\*

Han, Gi-Hoon



이 대 형\*\*\*

Lee, Dae-Hyung

## ABSTRACT

10 RC bridge piers have been made on a 1/3.4 scale model, and six piers of them were retrofitted with glassfiber. They have been tested in the quasi-static cyclic load so as to investigate their seismic enhancement before and after retrofitting with glassfibers. The objective of this experimental study is to investigate how to strength the ductility of reinforced concrete bridge piers which have been nonseismically designed and constructed in Korea before 1992. Important test parameters are axial load, load pattern, retrofit type. Glassfiber sheets were used for retrofitting in the plastic hinge region of concrete piers. The nonlinear behavior of bridge columns have been evaluated through their yield and ultimate strength, energy dissipation, displacement ductility and load-deflection characteristics under quasi-static cyclic loads. It can be concluded from the test that concrete piers strengthened with glassfibers have been enhanced for their ductile behavior by approximate 50 %.

Keywords : Quasi-static test, RC Pier, Ductility, Energy dissipation, Curvature, Glassfibers

\* 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 석사  
\*\*\* 정회원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 2월 29일까지 학회로 보내주시면 2000년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서론

지진에 대하여 대체적으로 안전지대라고 생각되었던 우리나라에서도 1978년 10월 7일에 발생한 홍성지진, 1982년 2월 14일에 발생한 사리원 지진, 최근의 1996년의 진도 약 4.0 이상의 경주, 영월지진 등의 중·소규모의 지진이 연이어 발생된 바 있다. 그리고 1995년 발생되어 인명 및 재산상에 엄청난 피해를 초래하였던 일본의 Kobe 지진은 우리에게도 사회기반시설의 지진 안전성에 대한 국민적 관심을 고조시키고 있다.

따라서, 우리나라에서도 시급하게 우리의 지진특성에 대한 연구를 통하여 지진에 대한 대비를 서둘러야 할 것이다. 이러한 지진 안전성에 대하여 현재 우리나라는 중·약진 지역으로 인정되고 있지만 교량의 지진 안전성에 관한 내진설계기법은 미국 AASHTO(1992년도)의 강진지역 규정을 검증없이 채택하여 사용하고 있는 실정이다. 이로 인하여 교량의 내진설계는 과다설계의 경향을 나타내고 있어 이에 대한 검증이 요구되고 있으며, 더불어, 내진설계 규정이 없었던 과거에 시공된 교각에 대한 내진성능 검토가 요구되고 있다. 최근 내진설계되지 않은 교각을 현행 내진규정에 만족시키기 위해서 교각

을 전면 교체하는 것보다는 보강을 통하여 교각의 성능을 향상시키는 경제적인 방안에 관한 많은 관심이 고조되고 있다. 본 연구는 내진설계된 혹은 내진설계되지 않은 콘크리트 교각의 내진성능에 관한 실험적 연구에 추가하여 내진설계되지 않은 국내의 콘크리트 교각을 유리섬유로 보강하였을 때 내진성능 증진 효과에 따른 적절한 유리섬유 보강방법을 파악하고자 한다. 콘크리트 교각의 보강방법은 철판보강, 탄소섬유보강, 유리섬유보강, 콘크리트단면증설 등이 있으나, 본 연구에서는 시공이 간편한 유리섬유보강에 대해서 연구하였다. 유리섬유보강은 소성힌지부를 유리섬유량을 달리하여 보강하여 적정 보강량을 규명하고자 하였다. 즉, 내진설계되지 않은 콘크리트 교각을 유리섬유보강으로 내진성능을 증진시킬 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

## 2. 시험체

대상모델은 내진 1 등급으로 설계된 수원시의 하갈교의 교각을 대상으로 하여, 1/3.4 축소모델로 시험체를 제작하여 축하중, 하중 Pattern, 유리섬유보강방법 등을 달리하여 실험하였다. Table 1은 대상모델과 축소모델의 비교상세이다.

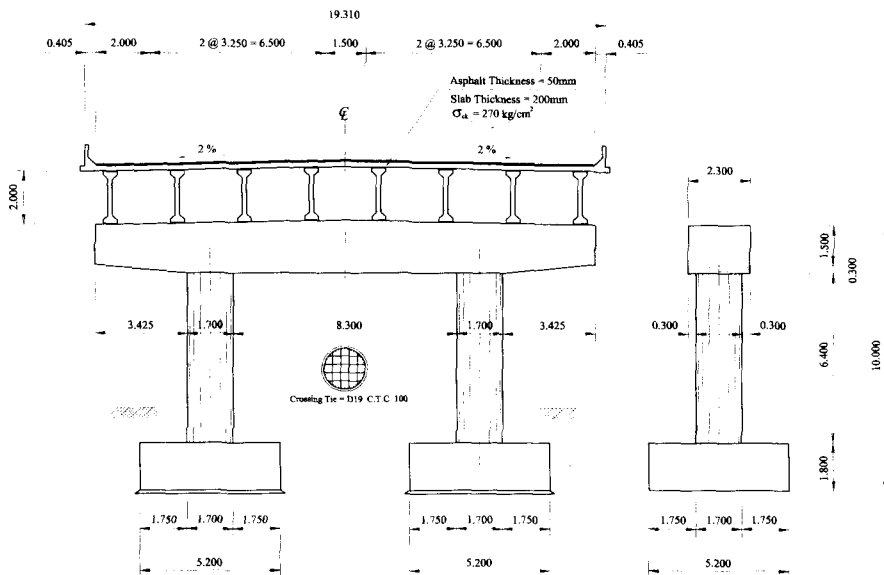


Fig. 1 Hagal Bridge Section in Suwon City

Table 1 Detail of Prototype and Specimen

		Prototype	Specimen	Remark
Longitudinal Reinforcement Steel		40@D29 (28.6 mm)	32 @D10 (9.53 mm)	$\rho = 1.1\%$
Confinement Steel	Diameter	D19 (19.1 mm)	#6 wire (4.8 mm)	
	Space	Plastic Hinge Zone : 100 mm Another Zone : 150 mm	Seismic Design : 22 mm Nonseismic Design : 44 mm	
Column	Diameter	170 cm	50 cm	
	Height	640 cm	188 cm	
Axial Load		497.9 ton	43.06 ton, 70.60 ton	

2.1 재료특성

축소모델에서의 철근은 대상구조물의 철근의 응력-변형률 특성을 모형화하기 위하여 주철근은 D10의 SD40철근을 사용하였으며 횡방향철근은 #6 Wire를 열처리하여 사용하였다. 그리고 KS B 0802에 따라 각각의 3개의 시편에 대한 인장실험을 하여 평균항복강도  $4,100\text{kgf/cm}^2$ ,  $2,900\text{kgf/cm}^2$ 을 얻었다. 대상구조물에서 기둥의 콘크리트 28일 강도가  $240\text{kgf/cm}^2$ 이었으며, Table 2에 표시된 배합에 따라 KS F 2405 (공시체  $\Phi 15 \times 30\text{cm}$ )에 수행된 압축강도결과는  $242\text{kgf/cm}^2$ 이었다. 그리고 콘크리트교각의 내진보강을 위하여 에폭시 수지혼합물에 함침시킨 E-Glass Composite를 사용하였다.

Table 3에서 유리섬유 및 유리섬유 복합체의 재료특성을 나타내었다.

2.2 시험체

본 실험에서 이용한 시험체는 도로교 표준시방서에 의하여 내진 1등급으로 시공된 경기도지역의 실존 RC구조물인 하갈교를 축소한 모델을 이용하였으며 축소비율은 시험체의 시공의 용이성 및 실험결과와 신뢰성 등을 고려하여 1/3.4를 이용하였다. 따라서 시험체의 단면은 지름이 50cm, 유효높이 47cm, 전단지간 185cm, 전단지간비  $a/d=3.94$ 인 원형 RC기둥이다. 시험체의 제원 및 상세도는 Fig. 2과 Table 4에 나타내었다

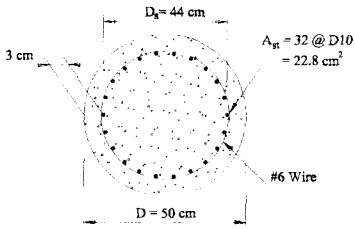
Table 2 Mix Proportions and Compressive Strength of Specimen

Max. Size of Coarse Agg.	Slump	W/C (%)	Fine Coarse Agg. Ratio	Unit Weight ( $\text{kgf/cm}^3$ )					Compressive Strength ( $\text{kgf/cm}^2$ )
				Water	Cement	Fine Coarse Agg.	Coarse Agg.	A.E.	
13mm	12cm	46.1	49%	169	375	866	937	1.88	242

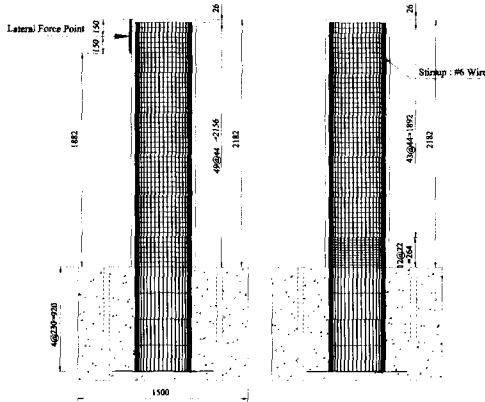
Table 3 Material Property of Glassfiber

Classification	E-Glass	Composite (E-Glass + Epoxy)	Test Method
Density	2.54		ASTM D 792
Tensile Strength ( $\text{kgf/cm}^2$ )	31,000	5,390	STM 13
Tensile Modulus ( $\text{kgf/cm}^2$ )	735,000	252,000	STM 13
Elongation (%)	4.2		STM 13

\* STM = Seguin Test Method : Hexcel社 표준시험



(a) Column Section Unit



(b) Non-Seismic Design (c) Seismic Design

Fig. 2 Detail of Specimens

원형단면의 원형철근배열 기둥에 대해서 Whitney가 제안한 식을 이용하여 P-M상관도를 구하여 본 시험체의 항복변위  $\Delta_y$ 를 계산하였다<sup>14)</sup>.

이에 대하여 이론적인  $\Delta_y$ 는 축방향하중 43.1ton, 70.6ton일 때 각각  $\Delta_{y1}=0.88cm$ ,  $\Delta_{y2}=0.99cm$ 로 계산되었다. 실험변수로는 띠철근비, 축방향력 및 하중재하 형태이다. 띠철근비는 4.5%로 하였다. 또한, 실제 구조물에서의 RC기둥은 상부구조 및 자중에 의해  $15kgf/cm^2$  정도의 압축응력이 작용하고 지진시(수평진도 0.2g)에는  $\pm 6kgf/cm^2$  정도의 축응력의 변화가 예상된다. 본 실험에서는 대상구조물의 상부사하중의 1/3.42 축소 축하중 43.1ton을 재하하고 이 때의 축방향 압축응력은  $21.94kgf/cm^2$ 이 예상된다. 축하중을 변수로 하여

$P/\sigma_{ck}A_g=0.15$ 로 하는 경우 축방향 압축응력은  $36.01kgf/cm^2$ 가 예상된다. 다음 Fig. 2는 시험체의 제원 및 배근도를 나타내고 있다.

### 2.3 보강설계

유리섬유보강량은 띠철근의 극한변형률과 유리섬유의 극한변형률이 균형을 이루는 유리섬유량을 계산하였다. 원형띠철근이 항복강도에 도달할 때 콘크리트 구속응력을 Fig. 3와 같이 나타낼 수 있다.

$$2f_{yh}A_{sh} = f_e D's$$

$$\therefore f_e = \frac{2f_{yh}A_{sh}}{D's} \quad (1)$$

Table 4 Important Test Parameter

Classification	Specimen Designation	Transverse Steel Space	Axial Load	Load Pattern	Retrofitting Pattern
Without Retrofitting	CS1P2L1/WO	4.4 cm	70.6 t	L1	WO
	CS2P2L1/WO	4.4 cm	70.6 t	L1	WO
Retrofitting with Glassfiber	CS2P1L1/W1	4.4 cm	43.1 t	L1	W1
	CS2P1L1/W2	4.4 cm	43.1 t	L1	W2
	CS2P1L1/W3	4.4 cm	43.1 t	L1	W3
	CS2P1L1/W4	4.4 cm	43.1 t	L1	W4
	CS2P2L1/W4	4.4 cm	70.6 t	L1	W4
	CS2P1L2/W4	4.4 cm	43.1 t	L2	W4

\* 註 : CS1 - Seismic Design P1 - Axial Force 1(43.06ton) L1 - 3 Cyclic Loads  
 CS2 - Non-Seismic Design P2 - Axial Force 2(70.60ton) L2 - 10 Cyclic Loads

여기서,  $A_{sh}$ 는 사용 원형 구속철근량,  $s$ 는 철근 간격,  $D$ '는 원형구속철근의 직경,  $f_{yh}$ 는 원형구속철근의 항복강도이다.

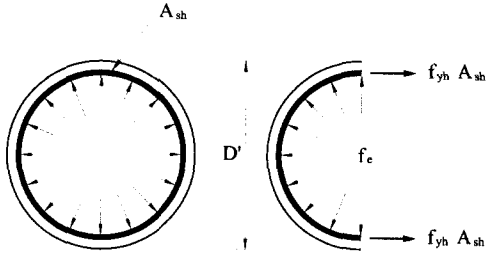


Fig. 3 Confinement of Concrete by Circular Hoops

단면형상에 따른 유효구속응력,  $f'_e = k'e'$ 로 나타낸다. 여기에서,  $k_e$ 는 원형기둥일 때 0.95이다.<sup>15)</sup>

압축하중을 받는 구속 콘크리트 항복강도,  $f_{cc}'$ 는 다음 식으로 구한다.

$$f_{cc}' = f_c \left( 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f_e'}{f_c}} - \frac{2 f_e'}{f_c} - 1.254 \right) \quad (2)$$

여기서,  $\sigma_c'$ 는 비구속 콘크리트의 압축강도이다. 콘크리트의 극한 변형률은 횡구속 철근이 파괴될 때 이고 이는 횡구속 철근이 최대응력( $f_{uh}$ )까지 연장될 때의 최대변형률 에너지량과 구속에 의해 콘크리트의 내부에 흡수되는 에너지의 증가량이 같다고 하여 콘크리트의 극한변형률을 구할 수 있다.

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_{sh} f_{yh} \epsilon_{su}}{f_{cc}'} \quad (3)$$

여기서, 횡구속 철근체적비는  $\rho_{sh} = \frac{4A_{sp}}{D_s}$ ,

유리섬유 체적비는  $\rho_{sg} = \frac{4t_g}{D}$  이다. 이를 통하여 계산되는 유리섬유의 두께  $t_g$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_g = \frac{0.1(\epsilon_{cu} - 0.004) D f_{cc}'}{\sigma_{ug} \epsilon_{ug}} \quad (4)$$

여기서,  $f_{ug}$ 는 유리섬유의 극한응력,  $\epsilon_{ug}$ 는 유리섬유의 극한변형률이다. 위와 같이 계산하면 적정유리섬유량은 두께 1.8mm로 계산되었다. 보강시험체에 사용된 띠철근은 #6 Wire로 중심간 간격을 4.4 cm로 하여 제작되었다. 유리섬유의 보강은 4가지 방법으로 보강하였다. W1부터 W3까지는 구속보강설계로 구한 유리섬유두께를 근거로 하여 3종류의 두께로 시험체의 plastic hinge구간에 횡으로 감싸 시공하였다. 그리고 보강 type 4는 type 3에 더하여 시험체의 종방향으로 섬유방향을 일치시켜서 두께 2.6 mm로 시공하였다. 자세한 보강형태는 Fig. 4에서 나타내었다.

보강시험체의 W1은 횡방향으로 기둥직경의 1/2 높이 만큼은 두께 1.3mm의 유리섬유를 2 layers, D/2 이상 D 높이까지는 1 layer로 보강하였다. 그리고 두 면의 경계면에 Taper 구간을 두었다. W2는 횡방향으로 D/2 높이까지 유리섬유를 3 layers, D/2 이상 D 높이까지는 2 layers로 보강하였다. 그리고 W1과 같이 Taper 구간을 두었다. W3은 횡방향으로 D/2 높이까지는 유리섬유 4 layers, D/2 이상 D 높이까지는 3 layers로 보강하였다. 또한 W3도 Taper 구간을 두었다. W4는 W3에 추가로 유리섬유방향을 기둥 종방향으로 하여 높이 100cm 까지 2 layers를 추가로 보강하였다. 4종류의 유리섬유보강방법을 Fig. 4에 상세히 나타내었다.

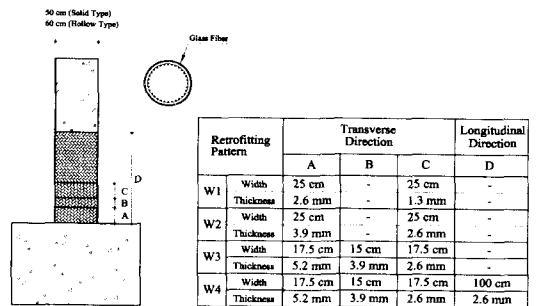


Fig. 4 Methods of Retrofitting with Glassfiber

### 3. 실험내용

하중재하는 축력을 일정한 값으로 유지한 상태에서 콘크리트 교각에 반복수평하중을 재하하였으며, 수평하중은 변위제어 방식을 채택하였다. Fig. 5에는 재하개념도를 나타내었다.

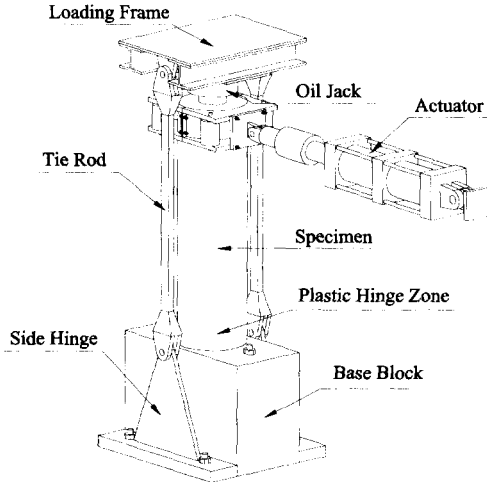


Fig. 5 Test Schematic Diagram

하중형태는 Fig. 7과 같은 2 가지의 반복하중으로서 기둥상부의 인장철근이 항복 변형률 0.002에 도달하는 항복변위  $\Delta_y$ 의 1배, 2배, 3배, ... 로 하여 각각의 반복횟수는 3회, 10회이다.

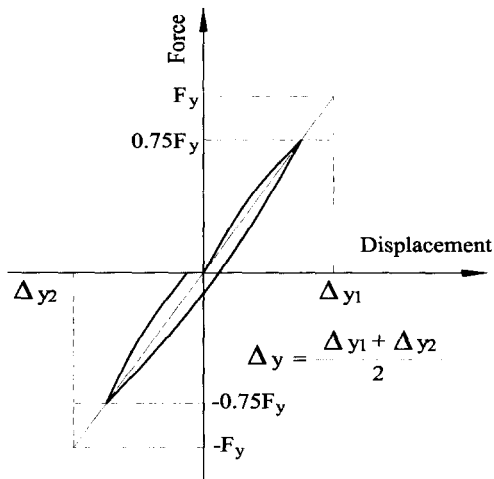


Fig. 6 Experimental Definition of Yield Displacement

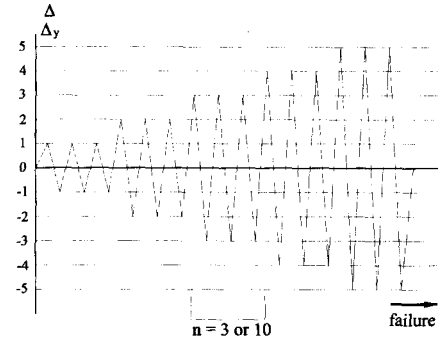


Fig. 7 Cyclic Load Pattern

축방향하중은 기둥상부의 Oil Jack으로 가하며 Oil Jack의 상부에 강재프레임을 거쳐 양쪽 Hinge block으로 전달된다. 여기서 축하중 1은 대상구조물의 사하중을 근거로 하여 축소모델에 상응하는 43.1 ton을 가하였고, 축하중 2는 축하중의 증가에 따른 기둥의 거동을 알아보기 위해  $0.15 \sigma_{ck} A_g$ 에 해당하는 70.6 ton을 가하였다. 그리고 실험적인 항복변위  $\Delta_y$ 는 앞에서 구한 이론적인 휨능력에 상응하는 수평하중의 75%값을 1회 반복하여 그 때의 종방향철근의 변형률을 측정하여 변형률이 0.002가 예상되는 기둥시험체의 변위를  $\Delta_y$ 로 결정하였다. Fig. 6에서  $\Delta_y$ 를 실험적으로 구하는 방법을 간단히 도시하였다. 수평하중 Pattern은 Fig. 7과 같이 반복변위 하중을 가하였다. 여기서 하중 L1은 반복횟수를 3회로 하였고, L2는 Strength Deterioration Modelling의 Deterioration Ratio를 얻기 위하여 반복횟수를 10회로 달리하여 하중을 가하였다.

### 4. 실험장치

본 실험으로 얻고자 하는 자료는 시험체의 Plastic hinge의 위치와 길이, Plastic hinge zone내의 소성변형에 의한 곡률과 변위연성능력을 파악하고자 한다. 그 목적을 달성하기 위해 기둥시험체의 종방향철근에 4개의 Strain gauge를 부착하고, 횡방향철근에 3~4개의 Strain gauge를 부착하였다. 그리고 기둥시험체의 수평변위 재하부위의 변위값과 기둥 높이별 변위값을 측정하기 위하여 LVDT 4개를 설치하였다. 그리고 기초는 완전고정으로 설계하였으나 예상하지 못한 변위가 발생할 우려가 있기에

기초 저면과 기초 상면에 LVDT를 각각 설치하였다. 또한 예상 Plastic hinge zone내에 기동시험체의 곡률을 측정하기 위해 양면에 각각 3개씩 6개의 Clip gauge를 제작하여 설치하였다. 자세한 Gauge plane은 Fig. 8에 도시하였다.

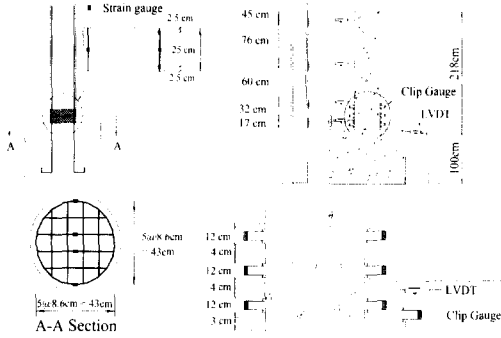


Fig. 8 Gauge Plan

## 5. 실험결과 및 고찰

### 5.1 파괴 변위연성도

시험체의 파괴는 각 시험체별 최대 횡방향하중의 0.75배의 하중단계를 파괴상태로 생각하고, 변위연성도를  $\mu \Delta_f = \Delta_y / \Delta_f$ 로 정의하였다. 여기서  $\Delta_f$ 는 파괴상태의 횡방향변위이고,  $\Delta_y$ 는 종방향철근의 변형률이 0.002일 때의 횡방향변위이다.

무보강 시험체의 파괴형상은 먼저 수평균열이 발생하고 다음으로 수평균열 주위로 미세한 수직균열이 발생한다. 상부 변위가 더욱 커지면서 최초로 발생한 수평균열이 사방향으로 발전하게 되며 이 단계에서부터 수직균열이 발생한다. 이후 하중이 반복되면서 소성현저부에서 피복콘크리트의 탈락이 시작된다. 피복 콘크리트가 탈락된 이후에도 상당한 변형능력을 보이다가 노출된 철근의 좌굴과 인장이 반복되면서 이후 주철근이 파단에 이른다. 그리고 무보강시험체의 변위연성도는 약 5.0 정도로 조사되었다.

유리섬유보강 시험체는 무보강시험체에 비해 변위연성도가 7.0 이상으로 향상되었다. 파괴면은 기동과 기초의 접합면에 집중하였다. 보강방법 W1 경우만 보강재의 파괴가 일어났고, 나머지 시험체들은

보강재의 파괴는 발생하지 않고 기동과 기초의 접합부에서 변형이 집중되어 주철근의 완전한 파단상태, 기초의 휨파괴까지 유발하였다.

### 5.2 하중-이력 곡선

유리섬유보강 시험체가 무보강 시험체보다 같은 하중조건에서 변위연성도가 약 50% 향상되었다. 보강방법 W2, W3, W4에 따른 하중-이력곡선 상의 차이는 보이지 않았다. Load Pattern에 따라 L2에서 변위연성도가 한 단계 떨어졌다. 하중강도감소는 축방향하중, 횡방향하중반복횟수, 띠철근간격에 비례하여 하중강도감소율이 증가하는 추세였다. 각 시험체별 하중-이력 곡선을 Fig. 9에 도시하였다.

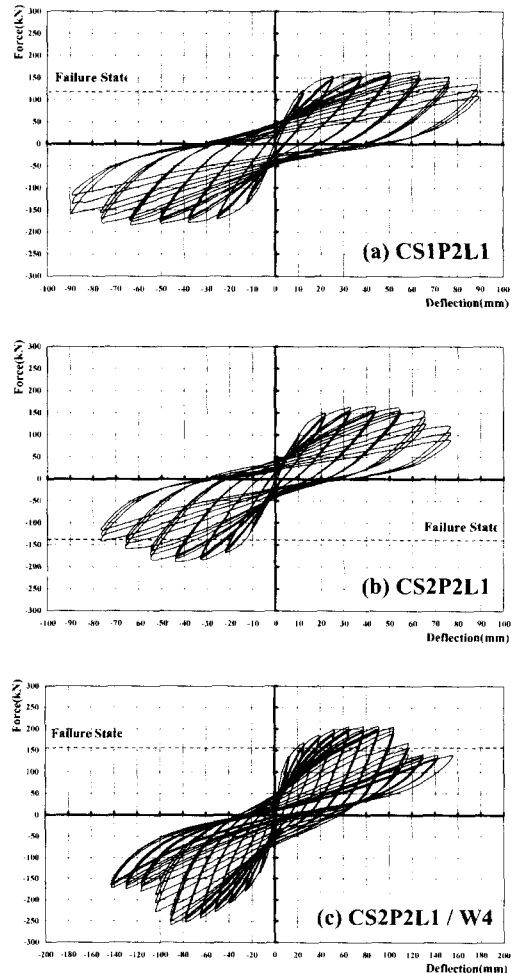


Fig. 9 Hysteretic Curve (Continued)

### 5.3 하중-변형을 응답

주철근 및 횡방향철근의 하중-변형을 응답을 Fig. 10에서 나타내었다. 무보강시험체에서 주철근 변형률이 변위연성도  $\mu = 1$  일 때 변형률이 0.002에 도달함으로써 추정 한 항복횡방향변위  $\Delta_y$ 가 타당함을 알 수 있었다. 보강시험체에서 변위연성도  $\mu = 1$  일 때 주철근이 항복하지 않음으로서 보강시험체의 거동이 향상된 것으로 판단된다. 그리고 추후연구에는 하중작용방향의 횡방향철근에 strain gauge 부착이 바람직하다고 판단된다.

### 5.4 하중단계별 강도저하

각 변위연성도단계에서 횡방향하중 반복에 의한 강도감소를 조사하기 위하여, 1cycle에서의 최대횡방향하중에 대한 마지막 반복 최대횡방향하중의 비로 강도감소를 알아보았다. 강도감소는 축방향하중, 횡방향하중반복횟수, 띠철근간격에 비례하여 강도감소율이 커지는 추세였다. 각 시험체별 변위연성률에 따른 강도감소율을 Tab. 5에 정리하였다. 그리고 Fig. 11에서 각 시험체들의 변위연성률에 따른 항복하중에 대한 최대하중의 비를 도시하였다.

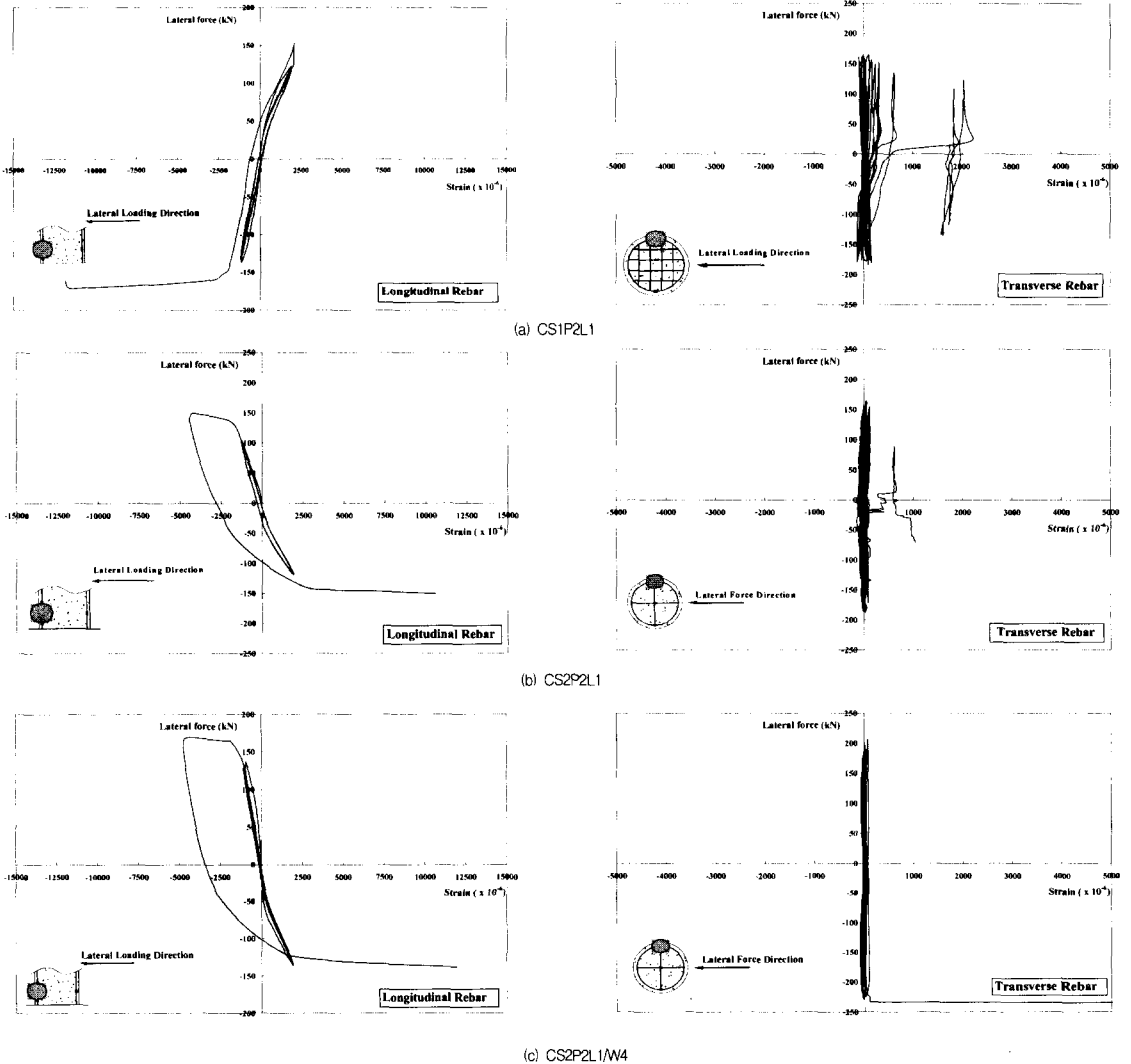


Fig. 10 Lateral Force - Strain Hysteresis



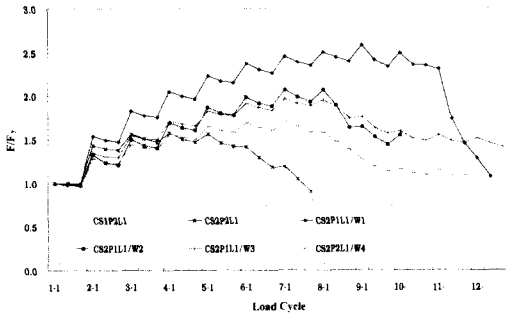


Fig. 11  $F_{max}/F_y$  on Displacement Ductility Factor

### 5.5 에너지흡수능력 및 등가점성비

교량에서 가장 일반적인 형태의 Damping과 에너지 소산은 하중-이력 응답의 Hysteresis Damping 이다. 철근콘크리트 기둥의 복원력특성을 Fig. 12

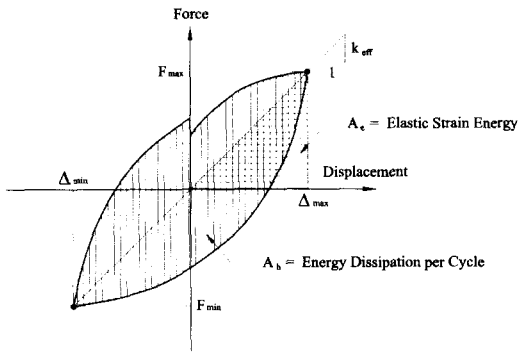


Fig. 12 Equal Maximum Potential Energy Response

과 같이 나타내면 cycle당 에너지흡수능력(에너지소비량)은 loop가 포함하는 면적  $A_h$ 로 나타낸다.

$A_h$ 는 최대변위의 크기에 의해 값이 변화하고, 부재의 특성을 정수적으로 나타내는 것은 불합리하므로 일반적으로는 재하시에 부재에 축적된 에너지  $A_e$ 를 갖고, 이들을 파괴를 수반한 진동계에서 점성 감쇠정수  $c$ 와 같게 평가하는 것으로 다음 식(5)로 나타내는 등가점성감쇠비  $\xi_{eq}$ 가 에너지흡수능력 또는 감쇠성을 나타내는 지표로 이용된다.<sup>15)</sup>

$$\xi_{eq} = \frac{A_h}{2\pi V_m \Delta_m} = \frac{A_h}{2\pi A_e} \quad (5)$$

Fig. 12에서  $V_m$ 과  $\Delta_m$ 은 최대평균 변위와 하중을 나타낸다. 각 시험체별 변위연성도에 대한 에너지흡수는 Fig. 13과 같이 유리섬유 보강시험체의 성능이 내진설계되지 않은 시험체보다 우수하게 나타났다. 또한 각 시험체별 변위연성도에 대한 등가점성감쇠비  $\xi_{eq}$  역시 Fig. 14, 15와 같이 보강시험체의 성능이 우수하게 나타났다. 이러한 등가점성감쇠비는 전단철근의 간격과 축방향압축력의 비와 관계가 있으며, 보강시험체중 보강 Pattern 1인 CS2P1L1 / W1 시험체의 등가점성감쇠비가 변위연성도 11.0까지 우수하게 측정되었다. 각 시험체별 변위연성도에 대한 에너지흡수 및 등가점성감쇠비는 Table 6, 7에 정리하였다.

Table 5 Strength Deterioration on Displacement Ductility Factor ( $F_{max} / F_{min}$ )

Displacement Ductility ( $\mu$ )	시험체명							
	CS1P2L1	CS2P2L1	CS2P1L1 / W1	CS2P1L1 / W2	CS2P1L1 / W3	CS2P1L1 / W4	CS2P2L1 / W4	CS2P1L2 / W4
1	0.975	0.994	0.987	0.964	0.973	0.966	0.957	0.950
2	0.964	0.963	0.962	0.917	0.962	0.965	0.962	0.937
3	0.946	0.942	0.960	0.937	0.973	0.963	0.966	0.921
4	0.952	0.935	0.957	0.949	0.967	0.960	0.965	0.935
5	0.909	0.908	0.964	0.949	0.963	0.962	0.960	0.925
6	0.859	0.839	0.956	0.950	0.959	0.957	0.954	0.871
7	0.764	0.764	0.961	0.934	0.960	0.925	0.929	0.770
8			0.956	0.791	0.895	0.840	0.875	0.808
9			0.902	0.872	0.890	0.907	0.890	0.891
10			0.944		0.933	0.936	0.946	
11			0.629		0.943	0.929	0.952	
12			0.560		0.931	0.927		
13						0.940		

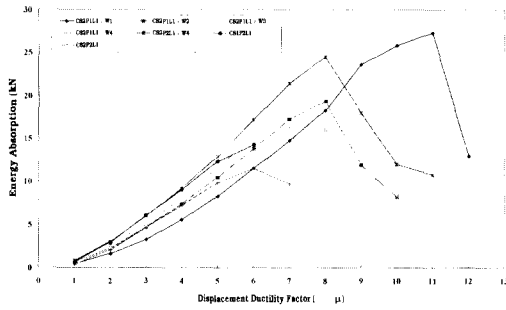


Fig. 13 Absorption of Energy on Displacement Ductility factor

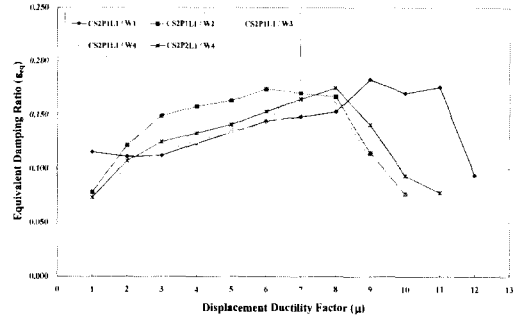


Fig. 14 Equivalent Damping Ratio of Specimens Retrofitted

Table 6 Absorption of Energy on Displacement Ductility factor (kN · m)

Displacement Ductility ( $\mu$ )	Specimens						
	CS1P2L1	CS2P2L1	CS2P1L1 / W1	CS2P1L1 / W2	CS2P1L1 / W3	CS2P1L1 / W4	CS2P2L1 / W4
1	0.692	0.357	0.444	0.543	0.566	0.636	0.797
2	2.928	2.081	1.608	2.236	2.351	2.555	3.007
3	6.030	4.611	3.257	4.675	4.830	5.109	5.955
4	9.049	7.223	5.526	7.436	7.762	8.087	9.237
5	12.320	9.834	8.276	10.460	1.1054	11.591	12.889
6	14.235	11.502	11.507	13.827	14.640	15.389	17.184
7	13.583	9.709	14.736	17.260	18.564	16.267	21.410
8			18.277	19.353	22.078	16.043	24.532
9			23.585	11.918	19.167	11.540	18.010
10			25.815	8.247	13.798	8.311	12.017
11			27.326		11.380		10.739
12			12.974		9.423		

Table 7 Equivalent Damping Ratio on Displacement Ductility Factor ( $\epsilon_{eq}$ )

Displacement Ductility ( $\mu$ )	Specimens						
	CS1P2L1	CS2P2L1	CS2P1L1 / W1	CS2P1L1 / W2	CS2P1L1 / W3	CS2P1L1 / W4	CS2P2L1 / W4
1	0.067	0.051	0.116	0.078	0.064	0.064	0.073
2	0.113	0.095	0.111	0.122	0.098	0.102	0.107
3	0.150	0.131	0.112	0.149	0.116	0.116	0.125
4	0.172	0.150	0.124	0.158	0.125	0.126	0.133
5	0.177	0.173	0.134	0.163	0.134	0.136	0.141
6	0.183	0.186	0.144	0.174	0.142	0.142	0.153
7	0.165	0.156	0.148	0.171	0.152	0.183	0.165
8			0.153	0.167	0.157	0.161	0.175
9			0.183	0.114	0.134	0.110	0.141
10			0.170	0.077	0.096	0.076	0.093
11			0.176		0.074		0.078
12			0.094		0.057		

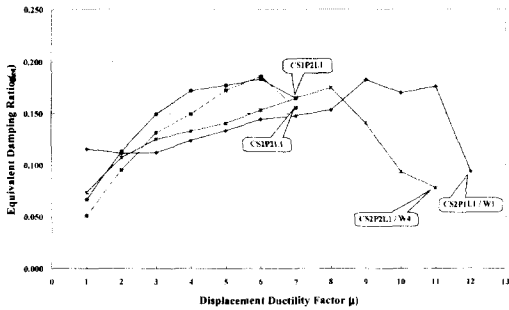


Fig. 15 Equivalent Damping Ratio of Specimens Before and After Retrofitting

## 6. 결론 및 추후연구과제

본 연구는 경기도 수원시 하갈교를 대상으로 하여, 1/3.4 축소모델로 단일주형식의 교각 시험체를 제작하여 내진성능 향상을 위한 보강방법으로 유리섬유복합재로 교각을 보강하여 Quasi-Static Test로 실험을 수행하였다. 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- ① 일반적인 RC기둥의 소성흔지부는 기둥의 지름이하의 위치에서 발생하였고, 보강방법 W1을 제외한 보강시험체들의 경우 기둥과 기초의 접합부에서 파괴되었다.
- ② 무보강시험체의 경우 변위연성도가 약 5.0 정도였으나, 보강시험체들은 변위연성도를 최소 7.0 이상 기대할 수 있었다.
- ③ 유리섬유의 보강 type 2, 3, 4는 종방향으로 보강을 시켰으나 변위 연성능력의 향상을 얻지 못했다.
- ④ 보강시험체별 등가점성감쇠비,  $\xi_{eq}$ 값에 약간의 차이는 있으나 연성도 8.0 이상으로 증가하는 것으로 나타났다

결론적으로 유리섬유보강 시험체의 경우 변위연성능력이 8.0 이상이며,  $\xi_{eq}$ 값에 약간의 차이는 있으나 연성도 8.0까지는 증가하는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 '97 건설기술연구개발사업(과제번호 :

97003-4)과 한국지진공학회(ERC)의 지원을 받아 수행되었으며, 시험체 제작 및 실험에 지원을 해주신 풍림 파이버랩 건설(주) 및 현대건설 기술연구소에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, "도로교 표준시방서", 1996
2. 한국지반공학회, "진동 및 내진설계", 구미서관, 1997
3. 한국전산구조공학회, "구조물의 내진설계", 한국전산구조공학회 기술강습회 자료집, 교재 15-1, 1997
4. 장승필, 김재관, "중약진 지역에서의 내진설계 개념의 발전 동향", 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, pp 217~222
5. 이강균, 한기훈, 정영수, 이대형, 황의승, "철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 준정적 실험", 한국콘크리트학회, 1998년 가을학술발표회논문집, 제 10권 2호, pp 615~620
6. 한기훈, 이강균, 정영수, "원형중공 콘크리트 교각의 내진성능에 대한 실험적 연구" 한국콘크리트학회, 1999년 봄학술발표회논문집, 제11권 1호, pp 671~676
7. Newmark, Rosenblueth, "Fundamental of Earthquake Engineering", PrenticeHall, 1971
8. Tongue, B.H., "Principle of Vibration", Oxford University Press, 1996
9. Cha, Y.H.i, Priestley, M.J.N., Seible, F., "Seismic Retrofit of Circular Bridge Columns for Enhanced Flexural Performance", ACI Structural Journal V.88, No. 5, 9-10, 1991, pp572 ~ 584
10. Ghee, A.B., Priestley, M.J.N., Paulay, T., "Seismic Shear Strength of Circular Reinforced Concrete", ACI Structural Journal V.86, 1-2, 1989, pp 45~59
11. Priestley, M.J.N., Park, R., "Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading", ACI Structural Journal V.84, 1-2, 1987, pp 61~76
12. Zahn, F.A., Priestley, M.J.N., Park, R., "Flexural Strength and Ductility of Circular Hollow Reinforced Concrete Columns Without Confinement on Inside Face", ACI Structural Journal V.87, No. 2, March-April 1990, pp 156~166
13. Jack P. Moehle, "Strength of Slab-Column Edge Connections", ACI Structural Journal V.85-S11, November-December 1988, pp 8

14. Park, R., Paulay, T., "Reinforced Concrete Structures", JOHN WILEY & SONS, Inc. pp 118~194
15. Priestley, M.J.N., Seible, F., Calvi, G.M., "Seismic Design and Retrofit of Bridges", JOHN WILEY & SONS, Inc.
16. Wong, Y.W., Paulay, T., Priestley, M.J.N., "Response of Circular Reinforced Concrete Columns to Multi-Directional Seismic Attack", ACI Structural Journal V.90, No.2, March-April 1993, pp 180~ 191
17. 幸在賢二, 大塚久哲, 星隈順一, 佐佐木協一, 新保弘, "RC橋脚の變形性能向上に關する 實驗的研究", 土木學會 論文集, No. 578/V-37, 1997.11, pp43~56
18. 瀧本和志, 川島一彦, "基部で曲げ破壊する RC橋脚のエネルギー吸収容量定式化", 土木學會 論文集, No. 532/V-30, 1996.2, pp5~13

## 요 약

1995년에 발생했던 일본의 Kobe 지진참사 이후, 지진에 대하여 대체적으로 안전지대라고 생각되었던 우리나라에서도 1978년 10월 7일에 발생한 홍성지진, 1982년 2월 14일에 발생한 사리원지진, 최근의 1996년의 진도 약 4.0 이상의 경주, 영월지진 등의 연이은 중·소규모의 지진발생으로 한반도에서도 예기치 못한 지진에 대한 대비책의 필요성이 부각되고 있다. 수많은 구조물의 파괴를 일으켰던 1971년 San Fernando earthquake 이후 각국의 내진 설계기법은 새로운 변화를 가져왔다. 지진에 의한 교각 파괴의 위험을 적게 하기 위해 교각의 축방향철근이 항복점을 초월하더라도 임의의 변형범위 내에서는 파괴되지 않는 연성을 부여하는 설계의 필요성을 인식하였다. 교량의 설계시 탄성 영역만을 고려하여 설계하는 것은 과도설계를 초래하여 비경제적일 수 있으므로, 구조물에 아주 심한 파손이 일어나지 않는다면 어느 정도의 극한 하중을 견디고, 연성적인 거동을 할 수 있도록 설계된다면 붕괴는 피할 수 있을 것이다. 실제 여러 나라에서 교량과 빌딩에 대한 경제적인 설계를 위해 탄성해석으로 얻은 설계지진력을 응답수정계수로 나누거나 비탄성 설계응답스펙트럼을 사용하는 방법이 제시되고 있다. 특히, 우리나라와 같이 중진 또는 약진지역에는 강진지역의 경우에 개발된 내진설계 개념을 검증없이 도입하는 것은 무리가 있다. 따라서, 국내에 적합한 합리적이고 체계적인 내진 설계의 기본 개념을 설정하기 위해서는 중진 혹은 약진 지역에서 예상되는 구조물의 거동 특성의 분석이 필요하리라 판단된다. 본 연구는 내진설계된 혹은 내진설계되지 않은 콘크리트 교각의 내진성능에 관한 실험적 연구에 추가하여 내진설계되지 않은 국내의 콘크리트 교각을 유리섬유로 보강하였을 때 내진성능 증진 효과에 따른 적절한 유리섬유 보강방법을 파악하고자 한다. 콘크리트 교각의 보강방법은 철판보강, 탄소섬유보강, 유리섬유보강, 콘크리트단면증설 등이 있으나, 본 연구에서는 시공이 간편한 유리섬유보강에 대해서 연구하였다. 유리섬유보강은 소성현저부를 유리섬유량을 달리하여 보강하여 적정 보강량을 규명하고자 하였다. 즉, 내진설계되지 않은 콘크리트 교각을 유리섬유보강으로 내진성능을 증진시킬 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

(접수일자 : 1999. 8. 13)