

# 원형중공 콘크리트 교각의 내진성능에 대한 준정적 실험

## Quasi-Static Test for Seismic Performance of Circular Hollow RC Bridge Pier

정 영 수\*                      한 기 훈\*\*                      이 강 균\*\*                      이 대 형\*\*\*  
Chung, Young Soo      Han, Gi Hoon      Lee, Kang Kyun      Lee, Dae Hyung

### 국문요약

본 연구는 충진교각의 시공시 발생하는 수화열에 따른 문제점을 보완하고, 증장지간 교량의 시공성을 위하여 이용되는 중공 철근콘크리트 기둥의 내진성능 평가에 관한 Quasi-static 실험이다. 사용된 실험변수는 축하중, 내진설계유무에 따른 띠철근 간격, 변위 제어 하중형태 등을 채택하였다. RC기둥시험체는 수원에 위치한 하갈교의 교각을 1/34의 축소모델로 하여 등단면 중공단면형태의 내진설계된 시험체와 내진설계되지 않은 시험체를 각각 4개, 2개, 유리섬유로 보강된 시험체 1개, 총 7개를 제작하였으며 소성린지 구간에서의 띠철근의 간격은 1.8cm 및 2.3cm 이었다. 실험변수에 따른 내진 및 비내진 시험체의 내진성능 검토를 위하여 하중-변위 이력특성, 연성능력, 강도감소, 강성감소, 에너지흡수능력, 등가점성계수 등을 실험적으로 분석·조사하였다.

중공단면 콘크리트 교각의 내진성능은 같은 단면적의 충진원형단면과 내진성능이 유사한 것으로 평가되었으며 비내진설계로 시공된 교각도 어느 정도의 연성능력을 확보하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 추가의 실험변수에 따른 충분한 실험연구가 요구된다.

**주요어** : 원형교각, 중공단면, 연성률, 하중이력, 에너지흡수, 강도감소, 준정적 실험, 등가점성 감쇄비

### ABSTRACT

Because of relatively heavy dead weight of concrete itself and unavoidable heat of massive concrete in bridge piers, circular hollow columns are widely used in Korean highway bridges. Since the occurrence of 1995 Kobe earthquake, there have been much concerns about seismic design for various infrastructures, inclusive of bridge structures. It is, however, understood that there are not much research works for nonlinear behavior of circular hollow columns subjected to earthquake motions.

The objective of this experimental research is to investigate nonlinear behavior of circular hollow reinforced concrete bridge piers under the quasi-static cyclic load, and then to enhance their ductility by strengthening the plastic hinge region with glassfiber sheets. Particularly for this test, constant 10 cyclic loads have been repeatedly actuated to investigate the magnitude of strength degradation for the displacement ductility factor. Important test parameters are seismic design, confinement steel ratio, axial force and load pattern.

It is observed from quasi-static tests for 7 bridge piers that the seismically designed columns and the retrofitted columns show better performance than the nonseismically designed columns, i.e. about 20% higher for energy dissipation capacity and about 70% higher for curvatures.

**Key words** : quasi-static, circular hollow section, hysteresis, ductility, energy dissipation, glassfiber

### 1. 서 론

본 연구는 충진단면에 대한 교각교각의 quasi-

static 실험연구인 「충진단면 콘크리트교각의 내진성능에 관한 준정적 실험」에 연속으로 수행된 연구로서 원형중공단면의 콘크리트 교각에 대한 원형 중공단면의 콘크리트 교각에 대한 quasi-static 실험연구이다. 최근, 중공단면 교각이 구조물의 자중, 사용재료의 경감 및 수화열 억제에 위하여 경제적 및 구조적인 측

\* 정희원 · 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

\*\* 중앙대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\* 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정

본 논문에 대한 토의를 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

면에서 고속도로 교량 및 기타 교량에서 널리 설계·시공되어지고 있다. 그러나, 국내·외적으로 중공단면 교각의 지진에 대한 연구가 미흡한 실정에 있으므로 중공단면 교각의 지진에 대한 거동특성의 연구·해석이 요구되어왔다. 더욱이 비탄성해석을 통한 교량교각의 연성거동능력을 파악하거나 지반운동에 대한 교량의 경제성 및 안전성 확보를 위하여 동적 거동에 관한 실험적 연구가 절실히 요구되는 실정이다.

본 연구는 경제·구조적인 특성에서 설계·시공된 중공단면의 교각에 대하여 준정적 실험을 통하여 지진에 대한 비탄성 거동 및 연성거동능력을 실험적으로 조사하고, 콘크리트 교각의 연성능력을 향상시키기 위한 유리섬유의 내진성능 보강효과를 평가하고자 하였다. 한편, 기동시험편의 횡방향 구속에 따른 반복하중하에서 강도저하의 정량적 크기를 규명하고자 하였으며 주요 실험변수로는 내진성능 보강유무, 횡방향 구속력, 축방향력 크기 및 하중형태이다.

## 2. 연구내용

대상모델은 Fig. 1과 같이 국내의 내진 1등급으로 설계된 수원시의 하갈교의 교각으로써 중진 원형단면 교각의 내진성능에 관한 이전 실험연구결과<sup>(5)</sup>와 비교·분석을 위해 동일 단면적 및 철근량에 대한 1/3.4 축소모델로 Table 1과 같은 원형 중공단면을 도로교 시방서 기준에 따라 내진설계하여 시험체를 제작하였다.<sup>(11)</sup> 사용된 띠철근은 겹이음하여 시공되었으며, 주요 실험변수로는 축하중, 심부횡방향 철근비, 하중 pattern을 선택하였다. Table 1은 대상모델과 축소모델의 비교상세이다.

### 2.1 재료특성

#### 2.1.1 철근 특성

축소모델에서의 철근은 KS D 3504에 규정된 SD40의 D10의 상용철근을 주철근으로, 횡방향철근 경우 열처리된 #6 Wire를 사용하였

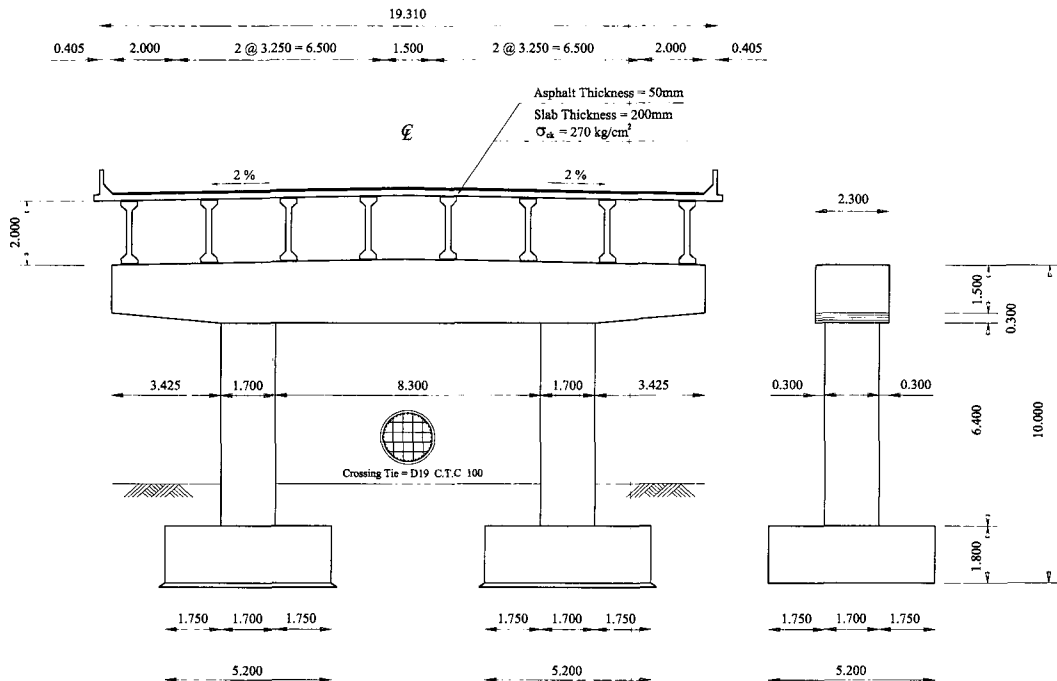


Fig. 1 Hagal bridge section in Suwon city

Table 1 Details of the prototype and specimen

		Prototype	Specimen	Remark
Longitudinal Reinforcement Steel		40@D29 (28.6mm)	32 @D10 (9.53mm)	$\rho=1.1\%$
Confinement Steel	Diameter	D16 (19.1mm)	#6 wire (4.8mm)	
	Space	Plastic Hinge Zone : 100 mm Another Zone : 150 mm	Plastic Hinge Zone : 18mm Another Zone : 23mm	
Column	Diameter	170cm	60cm	
	Height	6.40m	1.882m	
Axial Load		497.9t	43.07ton, 70.6ton	
Section Type		Circular Solid	Circular Hollow	

으며 KS B 0802에 따라 각각의 3개의 시편에 대한 인장실험을 하였으며 실험결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에 보여진 바와 같이 D10 경우 변형률 0.0020와 0.0293에 각각 항복점과 극한점을, 열처리된 #6 Wire 경우 변형률 0.0016와 0.0210에 각각 항복점과 극한점을 평균값으로 구하였다.

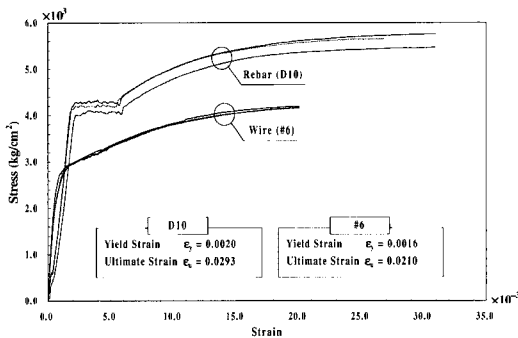


Fig. 2 Stress-strain curve of reinforcement steels

### 2.1.2 콘크리트 특성

대상 교량구조물 기둥의 콘크리트의 설계기

준강도가  $240\text{kg/cm}^2$ 으로 설계되었으며 본 연구에서 사용된 콘크리트 배합 및  $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 로 제작된 공시체의 28일 압축강도는 Table 2와 같다. 시멘트는 Type I portland cement, 굵은 골재는 13mm 쇄석을 사용하여 콘크리트가 원활히 타설되도록 하였다.

KS F 2405에 따른 공시체의 평균압축강도 실험결과는 약  $242\text{kg/cm}^2$ 로서 설계기준강도에 유사한 값을 얻었다.

### 3. 시험체 상세

Quasi-static 실험에 사용된 총 7기 시험체의 제원은 Fig. 3에 도시되었으며 외경 및 내경은 각각 60cm와 33.2cm로 하였다. 특히, 내진설계 여부를 구분하기 위하여 Table 3과 같은 횡방향철근의 간격으로 시험체를 제작하였으며 유리섬유 보강시험체는 내진설계되지 않은 시험체에 적용하였다. 주요 실험변수로는 내진설계적용여부에 따른 띠철근비, 축방향 하중증가에 따른 축방향력 및 피로거동에 따른 하중재하 형태, 유리섬유보강으로 분류하였으며 Table 3에 기술하였다.

Table 2 Mix proportions and compressive strength of specimen

Max. Size of Coarse Agg. (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	Fine Coarse Agg. Ratio (%)	Unit Weight( $\text{kgf/m}^3$ )					Compressive Strength ( $\text{kgf/cm}^2$ )
				Water	Cement	Fine Coarse Agg.	Coarse Agg.	A.E.	
13	12	46	49	169	375	866	937	1.88	242

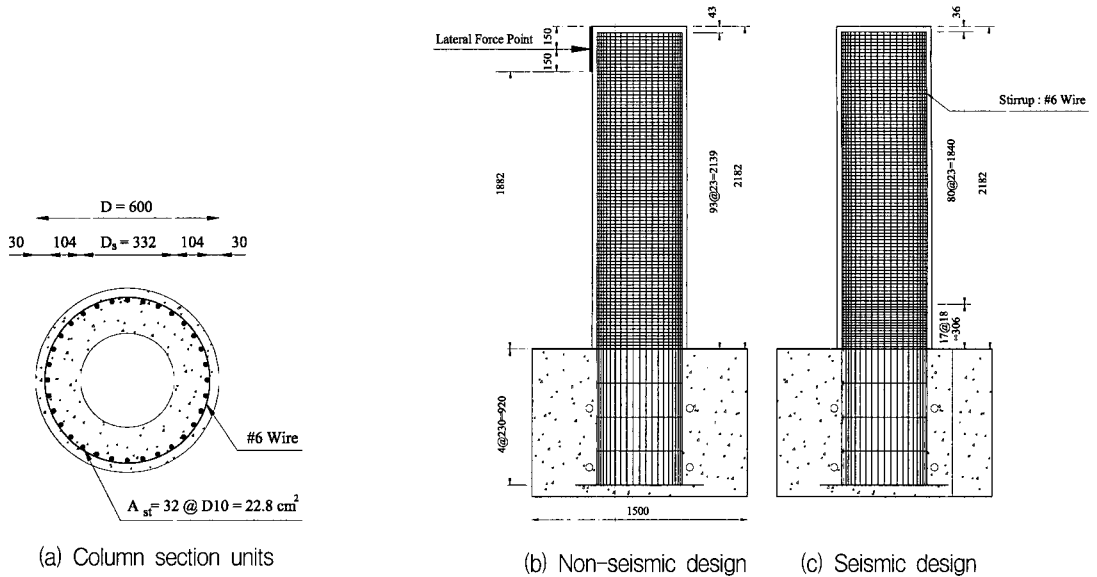


Fig. 3 Reinforcement details of pier specimen

Table 3 Important test parameters

Classification		Nomenclature	Confinement Steel Space (cm)	Axial Force (ton)	Load Pattern (Fig. 6)
Without Glassfiber Retrofit	Seismic Design	CH1P1L1	1.8	43.07	I
		CH1P1L2	1.8	43.07	II
		CH1P2L1	1.8	70.60	I
		CH1P2L2	1.8	70.60	II
	Non-Seismic Design	CH2P1L1	2.3	43.07	I
		CH2P1L2	2.3	43.07	II
With Glassfiber Retrofit		CH2P1L1-R	2.3	43.07	I

※ 註 : CH1-Seismic design      CH2-Nonseismic design      P1-Axial load (43.07ton)  
 P2-Axial load (70.60ton)      L1-3 Cyclic load pattern      L2-10 Cyclic load pattern

한편, 내진설계 미적용 시험체에 대한 유리 섬유 접착의 보강은 Fig. 4와 같이 내진설계시의 주요부분인 plastic hinge region인 기초상단에서 기둥외경(D)을 기준으로 D/2 높이까지는 유리 섬유 4장, D/2 이상 D 높이까지는 3장을 보강하였으며 응력집중을 막기 위하여 taper구간을 두었다.<sup>(8)</sup> 사용된 유리섬유의 특성은 Table 4와 같다.

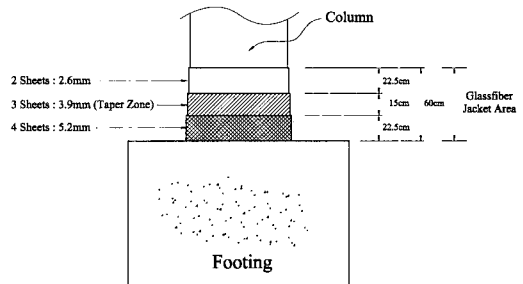


Fig. 4 Glassfiber retrofit specimen

Table 4 Material property of glassfiber

Classification	E-Glass	Composite (Glassfiber+Epoxy)	Test Method
Density	2.54		ASTM D 792
Tensile Strength(kg/cm <sup>2</sup> )	31,000	5,390	STM 13
Tensile Modulus(kg/cm <sup>2</sup> )	735,000	252,000	STM 13
Elongation(%)	4.2		STM 13

※ STM=seguin test method : Hexcel社 표준시험

#### 4. 실험하중

Quasi-static 실험을 위하여 Fig. 5에 도시한 바와 같이 사하중을 고려한 축방향력은 100ton oil jack을 이용하여 일정한 값으로 유지하였고, 횡방향의 반복수평하중은 Photo 1과 같이 재하하였다. 수평하중은 1,000kN hydraulic actuator를 이용하여 변위제어방식으로 재하하였다.

기동시험체의 항복변위  $\Delta_y$ 는 탄성해석을 통하여 이론적인 휨능력에 상응하는 횡방향 하중의 75%값을 하중제어방식으로 1 cycle 재하한 후 그 때의 측정된 종방향철근의 변형률 평균값을 이용하여 변형률이 0.002에 해당되는 변위값  $\Delta_y$ 를 기동시험체의 항복변위로 계산하여 실험을 수행하였다.<sup>(9)</sup> 횡방향 하중형태는 실험을 통하여 얻은  $\Delta_y$ 에 대하여 Fig. 6와 같이 3 cycles, 10 cycles의 2가지 형태의 피로저동으로 반복재하하였다.

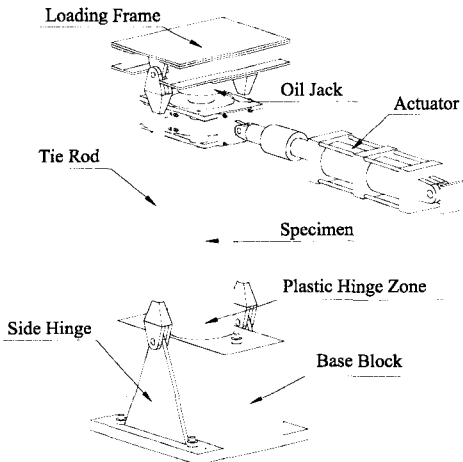


Fig. 5 Test schematic diagram

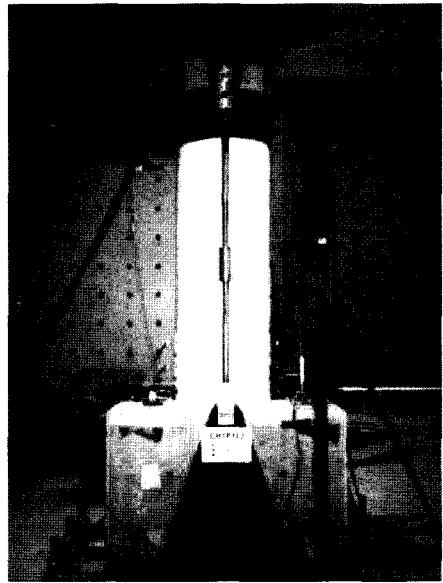
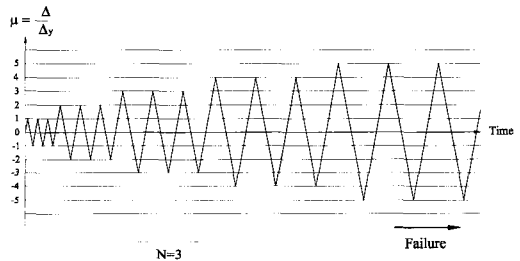
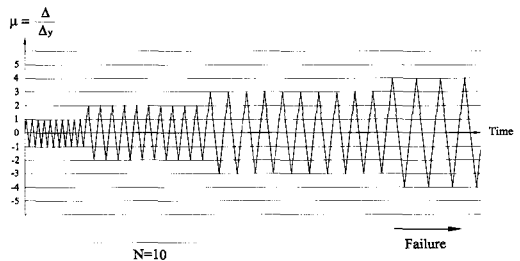


Photo 1 Test setup



(a) Load pattern I



(b) Load pattern II

Fig. 6 Cyclic load pattern

축방향 하중은 대상구조물의 사하중을 근거로 하여 축소모델에 상응하는  $0.10 \sigma_{ck} A_g$ 의 43.07ton과 축방향 하중의 증가에 따른 기둥의 거동을 조사하기 위하여  $0.15 \sigma_{ck} A_g$ 에 해당되는 70.6ton의 2종류의 하중을 재하였다.

### 5. 실험 계속

#### 5.1 하중·변위 및 철근변형을 측정

수평하중은 반력벽에 1,000kN hydraulic actuator (stroke :  $\pm 250$ mm)를 설치하여 변위제어방식으로 재하하였으며, 시험체의 횡방향변위를 측정하기 actuator 반대편에 기초상면에서 17cm, 49cm, 109cm, 그리고 185cm 위치에 LVDT 4개를 설치하였다. 또한, 하중재하 직각방향으로의 예상치 못한 변위 및 기초부의 이동·회전변위발생에 대하여 LVDT Ch. 5~7을 Fig. 7과 같이 설치하였다.

그리고, plastic hinge zone에서의 철근변형 거동을 파악하기 위하여 Fig. 8와 같이 기둥시험체의 종방향철근에 4개의 strain gauge를 부착하고, 횡방향철근에 2개의 strain gauge를 부착하였다.

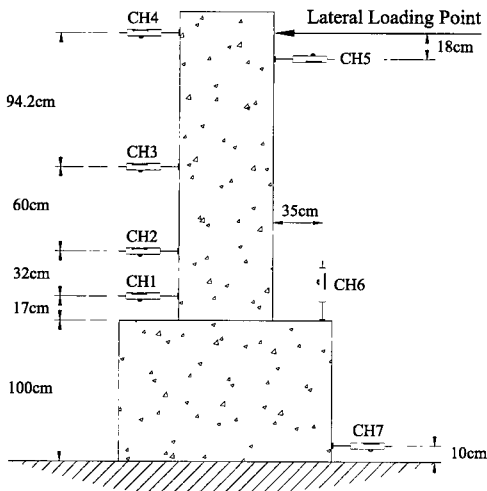


Fig. 7 LVDT setup

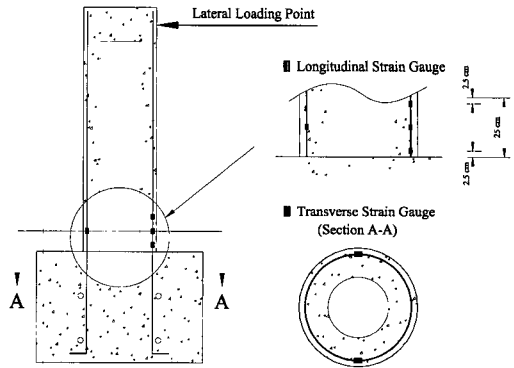


Fig. 8 Steel gauge setup

#### 5.2 곡률측정

기둥의 곡률은 Fig. 9와 같이 기둥 저면에서부터 높이 50cm 구간에 수평하중재하 방향과 동일하게 하여 기둥양쪽면에 clip gauge를 3개씩 각각 설치하였다. Photo 2는 실험중의 clip gauge 곡률 측정 광경을 보여주고 있다. clip gauge는 탄성스프링동판에 4개의 strain gauge의 회로도를 Wheatstone bridge로 형성시켜 제작하였다.

### 6. 실험결과

#### 6.1 변위연성도

본 실험에서 변위연성도( $\mu$ )의 평가에 있어서 파괴변위( $\Delta_f$ )의 정의는 최대 포락 극한하중에 대하여 75%의 하중감소가 발생하는 시점의 변위를 파괴변위로 가정하였으며, 항복변위( $\Delta_y$ )과의 관계식,  $\mu = \frac{\Delta_f}{\Delta_y}$ 를 통하여 변위연성도를 평가하였다.<sup>(13)</sup> 각 시험체에 대한 극한 변위연성도는 Table 5에 정리하였다.

#### 6.2 하중-이력곡선

본 실험에서 내진설계로 제작된 시험체가 내진설계 미적용 시험체에 대하여 Load Pattern I, II에 대하여 변위연성도가 약 1~2단계가 더 우수하게 나타났으며, 유리섬유

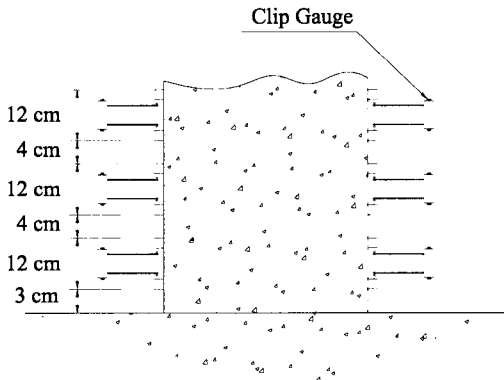


Fig. 9 Clip gauge setup

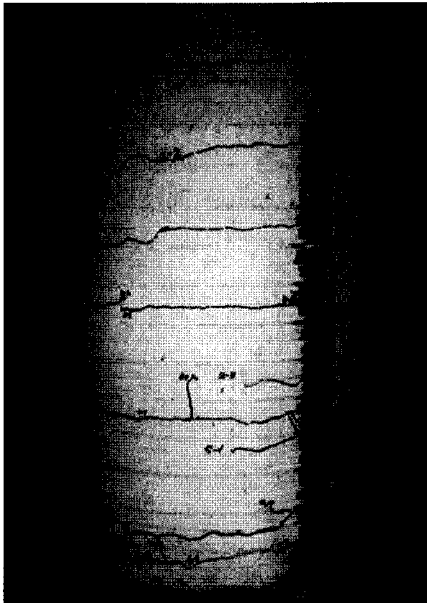


Photo 2 Clip gauge measurement

보강시 변위연성도가 내진설계의 효과를 초월하였다. Fig. 10의 (a), (b)는 내진설계 적용시험체, (c)는 내진설계 미적용시험체 그리고 (d)는 유리섬유보강 시험체의 하중-이력곡선이다.

미국 ASSHTO와 도로교 시방서에서 사용되는 응답수정계수 R에 대하여 요구되는 연성도를 Blume에 의하여 탄성영역과 소성영역 사이의 potential energy가 같다는 가정에 의하여 제안된 식( $R = \sqrt{2\mu - 1}$ )에 현행 도로교 시방서의 규정인 단일주의 응답수정계수 ( $R=3$ )에 대하여 연성능력을 구하면  $\mu=5$ 를 나타낸다.<sup>(1)</sup> 본 연구에서 내진설계 적용 및 보강시험체는 변위연성도가 약 6~8 정도로 조사되었으며 이는 연성능력을 충분히 확보하고 있는 것으로 평가된다. 그리고 내진설계를 적용치 않은 시험체의 변위연성도가 5~6 정도로 대체로 만족하고 있는 것으로 판단되나 추가적인 실험적 평가가 필요하리라 생각된다.

### 6.3 하중-변위 포락곡선 및 에너지 흡수

하중-이력곡선에 대한 포락곡선은 Fig. 11와 같이 나타나며 내진설계적용 시험체가 적용하지 않은 시험체에 대하여 최대하중 및 변위에 대하여 우수하게 나타나고 있으며 비내진 설계시험체도 우수한 연성거동을 나타내고 있었다.

Table 5 Displacement ductility factor ( $\mu$ )

Specimen	Ultimate State		Failure State		Displacement Ductility Factor ( $\mu$ )
	Strength (kN)	Displacement (mm)	Strength (kN)	Displacement (mm)	
CH1P1L1	232.45	43.750	171.75	76.95	7
CH1P1L2	233.95	54.550	175.20	62.825	6
CH1P2L1	231.60	49.775	184.10	69.825	7
CH1P2L2	261.20	49.600	175.15	59.825	6
CH2P1L1	249.55	43.000	156.65	66.05	6
CH2P1L2	222.65	43.750	162.55	54.525	5
CH2P1L1-R	299.65	63.975	220.90	87.675	8

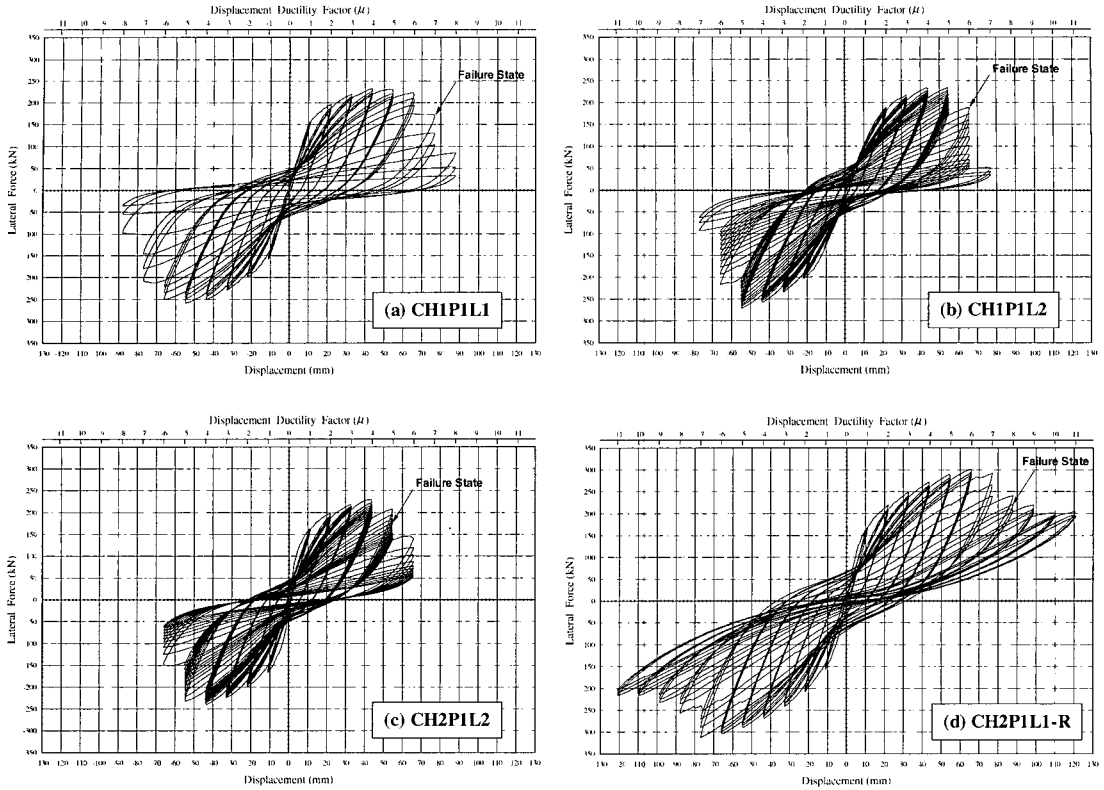


Fig. 10 Hysteretic curve

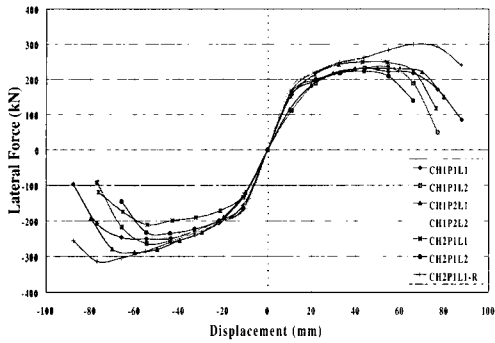
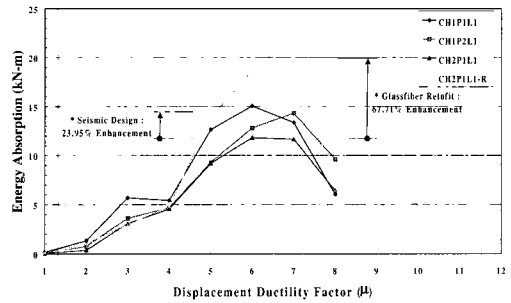
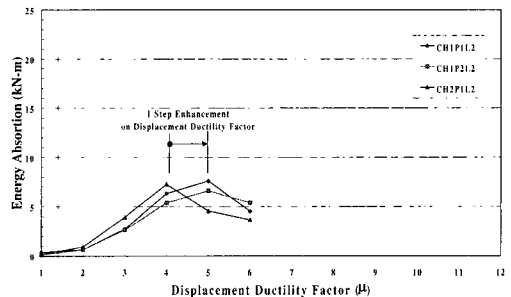


Fig. 11 Lateral force-displacement envelope

각 cycle별 에너지 흡수는 load pattern I에 대하여 Fig. 12(a)와 같이 내진설계 미적용 시험체에 대하여 적용한 시험체의 최대 에너지 흡수능력이 평균 23.95% 향상되었으며 보강 시험체에 경우 67.71% 향상되었다. Load pattern II의 경우에는 Fig. 12(b)와 같이 내진설계 시험체가 변위연성도에 대한 최대 에너지



(a) Load pattern I



(b) Load pattern II

Fig. 12 Energy absorption curve



지흡수능력이 한단계 향상되었다. 전체적으로는 load pattern II의 에너지흡수능력이 load pattern I의 경우보다 약 50% 에너지 흡수능력이 저하되었다. 이들 결과값들은 Table 6에 기술하였다.

### 6.4 누적곡률

Cip gauge를 통하여 계측된 누적곡률의 결과는 Fig 13와 같다. 각 시험체의 높이별 누적곡률은 각 위치별 상태가 선형적 변화일 때 탄성거동을 나타내며 비선형적 변화에서는 비탄성 거동상태를 나타내고 있다.

Table 6 Energy absorption ( $kN \cdot m$ )

Displacement Ductility Factor ( $\mu$ )	Specimen Designation						
	CH1P1L1	CH1P1L2	CH1P2L1	CH1P2L2	CH2P1L1	CH2P1L2	CH2P1L1-R
1	169.66	375.76	84.96	99.67	373.29	181.29	138.56
2	1337.11	653.363	756.40	642.82	3082.94	929.85	1031.28
3	5683.81	2754.12	3618.12	2661.42	4542.94	3968.31	2986.50
4	5419.34	6336.77	4681.44	5383.56	9197.07	7275.35	4800.60
5	12648.47	7596.39	9297.04	6627.41	11841.81	4575.79	13825.68
6	15052.01	4527.06	12803.81	5401.05	11673.33	3701.82	18650.20
7	13349.31		14304.86		6403.84		19858.64
8	6030.64		9603.85				6377.61
9							5317.54
10							5058.24
11							6201.36

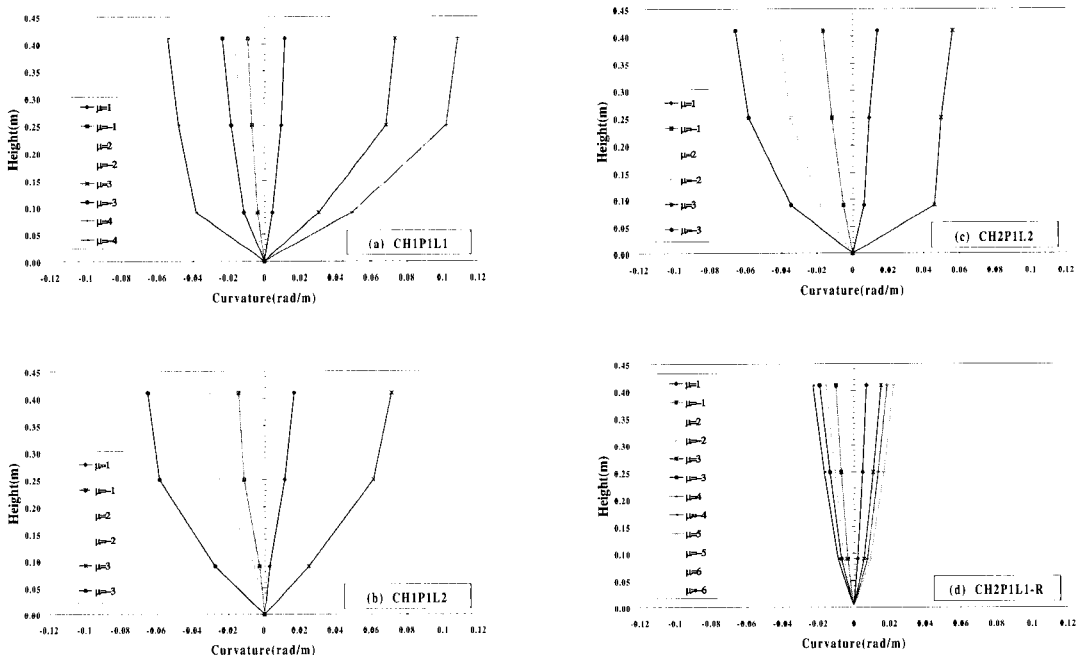


Fig. 13 Cumulative curvature

위의 결과에서 내진설계에 의하여 plastic hinge 구간이 내진설계된 시험체에서 곡률변화가 안정적으로 분포되어 에너지를 보다 폭넓게 분산·흡수하는 우수한 효과가 나타났으나 보강시험체의 경우 시공현장을 고려하여 의도적으로 발생시킨 기둥부와 기초부의 cold joint에 전단파괴가 발생되어 곡률변화가 매우 작게 나타났으며 이는 cold joint부의 변형이 전체의 변위를 지배함으로써 발생하는 것으로 추정된다.

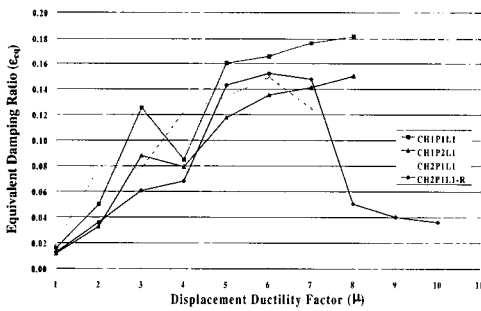
### 6.5 등가점성감쇠비 및 강도저하

이력특성에 대한 진동감쇠의 큰 요인인 에너지 소비에 대하여 감쇠성을 탄소성응답에 대하여 감쇠를 동반하는 탄성응답으로 치환한 Jacobsen의 등가점성감쇠비는  $\epsilon_{eq} = \frac{A_h}{4\pi A_e}$  로서  $A_h$ 는 각 cycle별 에너지흡수, 그리고  $A_e$

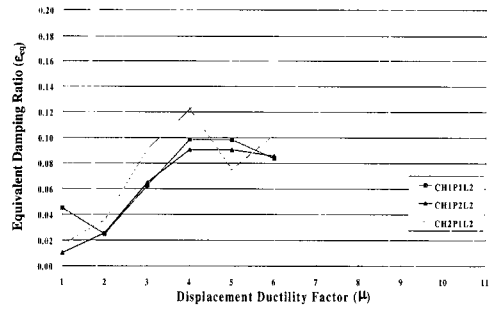
는 탄성변형에너지를 나타내며 Fig. 14와 같은 결과를 도출하였다.<sup>(14)</sup>

또한, 초기 극한하중( $F_y$ )에 대한 각 cycle별 하중( $F$ )의 정규화된 값인 강도감소에 대한 결과는 Fig. 15와 같으며 내진설계 적용 시험체의 경우가 내진설계를 적용하지 않은 시험체에 비하여 다소 기울기가 완만하였다. 이는 내진적용 시험체의 강도저하의 크기가 내진미적용 시험체보다 적게 발생되고 있음을 나타내는 것이다. Table 7과 8은 각각 변위연성도에 대한 각 cycle별 평균 등가점성감쇠비 및 강도감소를 나타내고 있다.

변위연성률에 따른 등가점성감쇠비 및 강도감소율에서는 축방향 철근이 보강되고 축방향력이 작은 경우에 보다 우수하게 나타났으며 각각의 반복하중단계별 강도저하 역시 내진설계 및 보강시험체의 경우 1~2단계가 더 우수하게 나타났다.

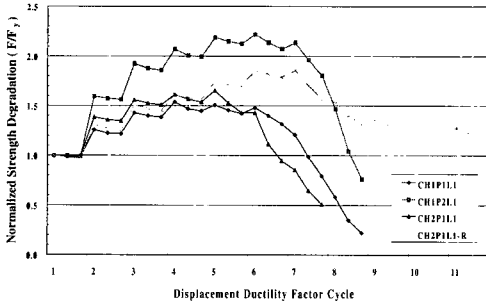


(a) Load pattern I

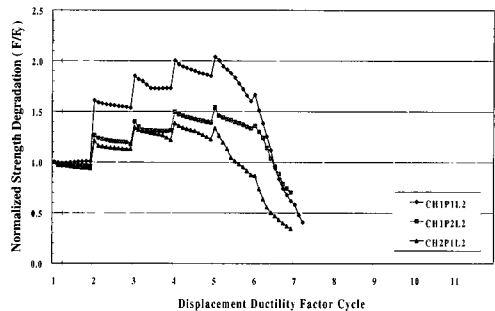


(b) Load pattern II

Fig. 14 Equivalent viscous damping ratio



(a) Load pattern I



(b) Load pattern II

Fig. 15 Normalized strength degradation

Table 7 Equivalent viscous damping ratio on displacement ductility factor ( $\epsilon_{eq}$ )

Displacement Ductility Factor ( $\mu$ )	Specimen Designation						
	CH1P1L1	CH1P1L2	CH1P2L1	CH1P2L2	CH2P1L1	CH2P1L2	CH2P1L1-R
1	0.016	0.045	0.016	0.010	0.020	0.017	0.013
2	0.050	0.025	0.033	0.026	0.079	0.036	0.036
3	0.125	0.062	0.088	0.065	0.078	0.091	0.061
4	0.085	0.099	0.079	0.091	0.123	0.122	0.068
5	0.160	0.098	0.118	0.091	0.134	0.075	0.143
6	0.165	0.084	0.135	0.086	0.149	0.102	0.152
7	0.176	0.145	0.141		0.125		0.148
8	0.182		0.150				0.050
9							0.04
10							0.036
11							0.040

Table 8 Strength deterioration displacement on displacement ductility factor ( $F/F_s$ )

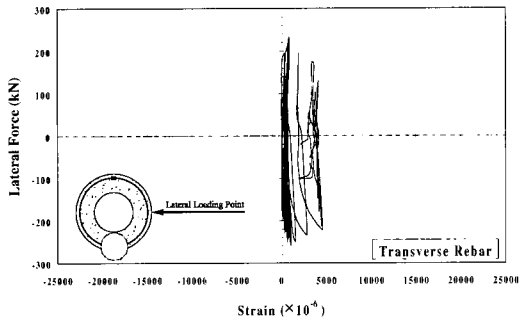
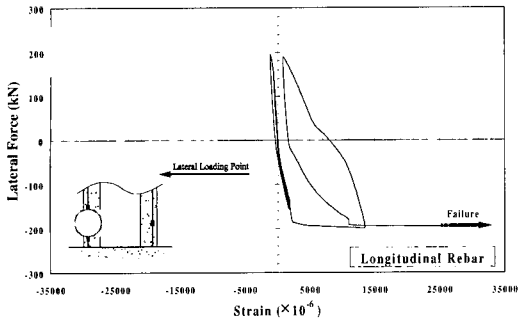
Displacement Ductility Factor ( $\mu$ )	Specimen Designation						
	CH1P1L1	CH1P1L2	CH1P2L1	CH1P2L2	CH2P1L1	CH2P1L2	CH2P1L1-R
1	0.980	0.991	0.994	0.962	0.996	0.939	0.968
2	0.968	0.953	0.979	0.929	0.973	0.933	0.955
3	0.969	0.933	0.965	0.933	0.967	0.910	0.963
4	0.941	0.923	0.962	0.929	0.952	0.884	0.971
5	0.944	0.784	0.972	0.867	0.864	0.653	0.974
6	0.890	0.370	0.937	0.514	0.662	0.398	0.964
7	0.656		0.845		0.595		0.844
8	0.381		0.520				0.862
9							0.936
10							0.961
11							0.951

### 6.6 하중-변형률 응답 및 균열양상

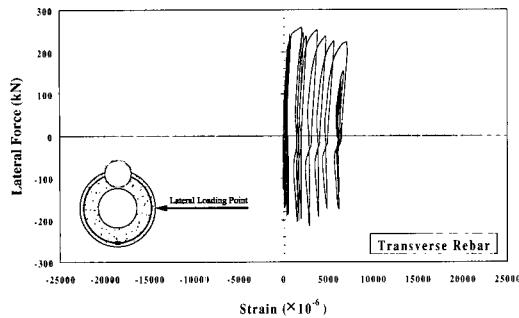
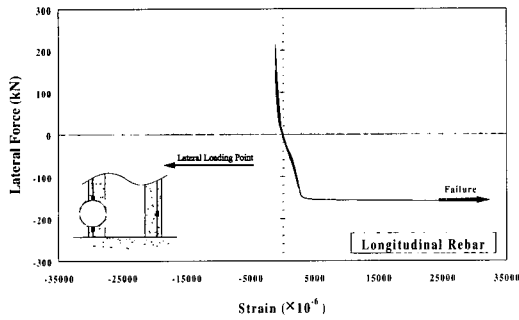
Fig. 16은 하중에 대한 종방향 및 횡방향 철근의 응답을 보여주고 있으며 내진설계 시험체가 변위연성도에 대하여 종방향 철근의 항복이 비내진설계시험체에 대하여 1~2 단계 우수하게 나타났다. 마찬가지로, 변위연성도에 대한 횡방향 철근의 변형률은 내

진설계 시험체가 비내진 설계시험체의 1/2 변형범위로 보다 안정적으로 나타났다.

각 시험체에서 나타난 균열양상에서는, Photo 3에 나타난 바와 같이 내진설계시험체의 경우 변위연성도 4에서 사인장균열 발생후 파괴양상을 나타내고 있으나 비내진설계 시험체의 경우 변위연성도 3이하에서 사인장균열이 발생한 후 파괴양상을 보였다.



(a) CHIP1L1



(b) CH2P1L1

Fig. 16 Lateral force-strain hysteresis

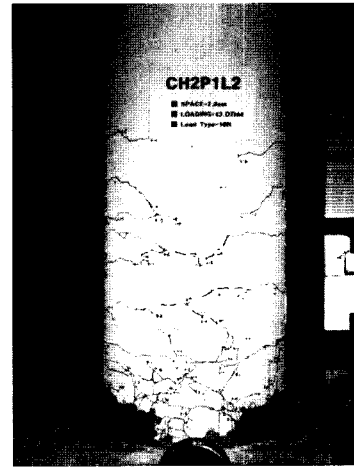
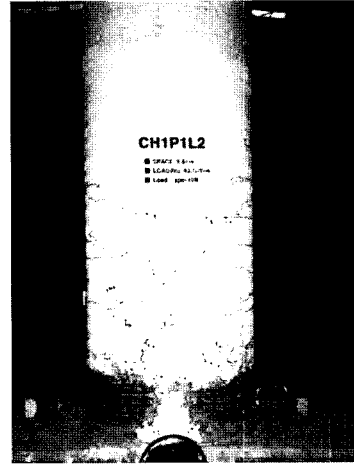


Photo 3 Crack pattern

## 7. 결 론

본 연구는 경기도 수원시 하갈교를 대상으로 하여 1/3.4 축소된 동일단면적의 원형중공 교각시험체를 제작하여 quasi-static test로 실험을 수행하였으며, 내진설계 미적용 시험체의 내진성능 향상을 위한 보강법으로 유리섬유복합재로 교각을 보강하였다. 실험연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- ① 내진설계에 의하여 횡방향 철근이 보강된 경우 hollow RC기둥은 변위 연성도를 6~7으로 기대할 수 있다.
- ② 국내의 내진설계를 적용하지 않은 시험체도 시방서 규정에 의하여 설계된 교각도

적절한 변위연성도를 확보하고 있었다.

- ③ 유리섬유보강을 통하여 내진설계를 하지 않은 시험체의 변위 연성도가 내진설계 시험체의 연성도값이상으로 향상되었다.
- ④ 축방향하중비  $P/\sigma_{ck}A_g$ 가 0.10인 시험체보다 축방향하중비  $P/\sigma_{ck}A_g$ 가 0.15인 시험체의 경우에 에너지 흡수능력이 보다 향상되었다.

중공단면의 철근콘크리트교각의 내진능력은 관련실험으로 앞서 수행된 충전단면 철근콘크리트교각에 대하여 보다 우수하게 평가되었으나 유리섬유보강효과에 있어서는 충전단면의 성능향상에 미치지 못하였다. 특히, plastic hinge부 보강시 cold joint부의 응력집중에 대하여 단면변화부에 대한 세심한 검토가 필요하리라고 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국 지진공학센터(과제번호 : 97K3-1301-04-02-3) 및 중앙대학교의 지원을 받아 수행되었으며, 시험체 제작 및 실험계측, 계측시설·장비에 풍림본드(주) 및 현대건설 기술연구소에서 지원을 받아 수행되었다.

### 참고 문헌

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 발전동향”, 한국지진공학회 춘계

5. 정영수, 이강균, 한기훈, 박종협, “단일주원형 철근 콘크리트 교각의 내진거동에 관한 준정적 실험”, 한국지진공학회논문집, 제3권 제2호, 1999. 6.
6. Newmark, R., *Fundamental of Earthquake Engineering*, Prentice Hall, 1971.
7. Benson, H. T., *Principle of Vibration*, Oxford University Press, 1996.
8. Chai, Y. H., Priestley, M. J. N., and Seible, F., "Seismic retrofit of circular bridge columns for enhanced flexural performance," *ACI Structural Journal*, Vol. 88, No. 5, 1991. 9-10, pp. 572-584.
9. Ghee, A. B., Priestley, M. J. N., and Paulay, T., "Seismic shear strength of circular reinforced concrete," *ACI Structural Journal*, Vol. 86, 1989. 1-2, pp. 45-59.
10. Priestley, M. J. N. and Park, R., "Strength and ductility of concrete bridge columns under seismic loading," *ACI Structural Journal*, Vol. 84, 1987. 1-2, pp. 61-76.
11. Zahn, F. A., Priestley, M. J. N., and Park, R., "Flexural strength and ductility of circular hollow reinforced concrete columns without confinement on inside face," *ACI Structural Journal*, Vol. 87, No. 2, March-April, 1990, pp. 156-166.
12. Jack, P. M., "Strength of slab-column edge connections," *ACI Structural Journal*, V.85-S11, November-December, 1988, pp. 89-98.
13. Park, R. and Paulay, T., *Reinforced concrete structures*, John Wiley & Sons, Inc, pp. 118-194.
14. Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M., *Seismic design and retrofit of bridges*, John Wiley & Sons, Inc.