

# 사각형 철근콘크리트 교각의 심부구속철근비 제안

## Suggestion for Confinement Steel Ratio of Rectangular RC Bridge Piers

박 창 규\*      이 대 형\*\*      윤 상 철\*\*\*      김 현 준\*\*\*      정 영 수\*\*\*\*  
Park, Chang Kyu    Lee, Dae Hyoung    Yun, Sang Chul    Kim, Hyun Jun    Chung, Young Soo

### ABSTRACT

Recently there have been occurred many loss of life and extensive damage to social infrastructures due to moderate and strong earthquakes all over the world. In this research, major design factors have been evaluated for the establishment of the rational seismic design code of rectangular RC bridge piers. It was concluded from this study that the axial force ratio and the longitudinal steel ratio should be the most important influencing design parameter for the seismic displacement ductility. However those parameters are not considered in the confinement steel ratio of the KHBDS. Thus, the objective of this study is to propose a rational design equation for transverse reinforcements of rectangular RC bridge piers. New confinement steel ratio is proposed by introducing the effect of the axial force and the longitudinal steel to the current KHBDS. It is thought that these new codes could release the rebar congestion problem in the plastic hinge region of RC bridge piers which contribute to the enhancement of constructibility and economization for RC bridge construction.

### 1. 서론

국내 도로상의 교량 교각의 형태는 매우 다양하나 대다수가 원형과 사각형 철근콘크리트 단면으로 구성되어 있다. 이러한 교각들은 지진시 최소 수준의 기능을 유지할 수 있도록 교량의 전부 또는 일부가 붕괴되지 않고 제한된 피해만을 허용하고 있다. 허용된 피해는 기둥에 소성힌지 형성을 유도하는 것으로서 이를 위하여 소성힌지구간에 심부구속철근을 배근하여 연성거동을 유도하고 있다. 우리나라의 심부구속철근비 산정식은 원형과 사각형 단면 모두 AASHTO 기준을 그대로 사용하고 있으며, 두 단면에 대한 심부구속철근비 산정식들은 재료강도비와 심부콘크리트 단면비로만 구성되어 있는 것이 공통점이고 차이점은 심부구속철근비를 원형단면의 경우에는 체적비로 사각형 단면에서는 면적비로 나타내어진다. 본 연구에서는 이전 원형 철근콘크리트 교각의 심부구속철근비에 대한 연구<sup>1)</sup>의 연속으로서 사각형 철근콘크리트 교각에 대한 국내외의 실험결과를 수집 분석하여 내진성능에 미치는 영향 인자를 조사하고, 그를 반영한 새로운 심부구속철근비 산정식을 제안하는 것이다.

\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 박사, pcg2213@wm.cau.ac.kr

\*\*정회원, 경도대학 토목과 교수

\*\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

## 2. 변수별 영향도에 따른 심부구속철근비 분석

본 연구를 위하여 국내·외 학술지(콘크리트 학회 논문집, ACI Structural Journal, ASCE Structural Journal 등)에서 54개의 실험체를 수집하여 변위연성도에 미치는 변수별 영향분석을 하였으며 현행 도로교 설계기준의 요구연성도에 따른 심부구속철근비 산정식을 제안하였다. 선정된 사각단면 실험체들의 형상비는 2.6~7.8, 주철근비는 0.81%~3.27%, 축하중비는 9%~40%이다. 그리고 사용된 주철근과 심부구속철근의 항복강도는 각각 300~565 MPa, 286~795 MPa이며 콘크리트 압축강도는 17.9~71.7 MPa로서 다양한 재료강도를 가지고 있었다.

### 2.1 축하중비 영향도 평가

수집된 실험 데이터 분석결과를 토대로 하여 요구연성도 5에 적합한 합리적인 심부구속철근비 산정식을 도출하고자 하였다. 이에 다양한 축하중비와 주철근비에 따라 요구연성도를 만족시키기 위하여 현행 심부구속철근비를 보정하기 위한 보정계수  $\gamma_1$ 를 조사하였다. 이때 사용한 함수는 식 (1)~(3)과 같으며 각 경우에 대하여 계산된 1차 보정계수  $\gamma_1$ 을 표 1과 그림 1에 나타내었다.

$$(\mu_{exp}/\mu_{rqd})_i = a_i \times (\rho/\rho_{rqd})_i + 1/\mu_{rqd} \quad (1), \quad (\rho/\rho_{rqd})_{i,rqd} = [(\mu_{exp}/\mu_{rqd})_i - 1/\mu_{rqd}]/a_i \quad (2),$$

$$\gamma_1 = \frac{\sum (\rho/\rho_{rqd})_{i,rqd}}{n} \quad (3)$$

표 1 축하중비와 주철근비에 따른 식 (4)의 보정계수  $\gamma_1$

$\gamma_1$		Longitudinal steel ratio				
		1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
Axial force ratio	10%		0.656	0.843		
	15%					0.745
	20%	(0.747)	0.839	0.880	0.998	
	30%	0.533		1.248	2.164	
	40%			1.926		

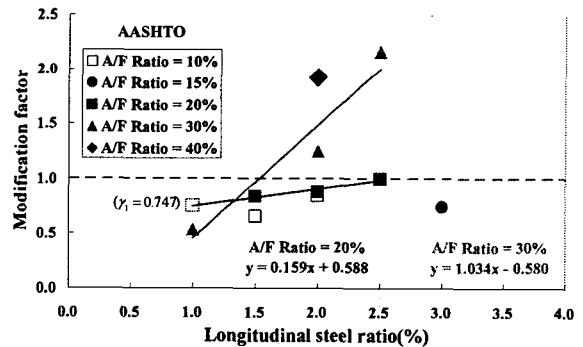


그림 1 축하중비와 주철근비에 따른 식 (4)의 보정계수  $\gamma_1$

축하중비의 영향 분석시 주철근비의 영향을 배제하기 위하여 주철근비가 1%일 경우의 축하중비 영향을 고려한 후에 2차적으로 주철근비의 영향을 분석하여야 하나, 분석한 실험체들의 경우에 주철근비가 1%인 경우는 축하중비가 30%인 경우만 존재하기 때문에 축하중비가 20%인 결과를 유추하였다. 즉 축하중비 20%의 회귀분석 추세선을 주철근비 1%까지 연장하여 보면 AASHTO의 기본 심부구속철근비 산정식의 보정계수가 0.747로 산출된다. 이 추정된 보정계수 0.747을 적용하여 기존 사각단면의 AASHTO 심부구속철근비 식 (4)에 축하중비를 변수로 추가하고 계수를  $0.3/0.2 \times 0.747 = 1.12$ 로 수정하면 다음 식 (5)와 같이 된다.

$$\rho_{s,AASHTO} = \frac{A_{sh}}{ah} = 0.3 \frac{f_{ck}}{f_y} \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \quad (4),$$

$$\rho_{s1} = \frac{A_{sh}}{ah} = 1.12 \frac{f_{ck}}{f_y} \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} \quad (5)$$

## 2.2 주철근비 영향도 평가

2.1절에서는 주철근비가 1%인 경우에 축하중비의 영향을 고려하여 기존 AASHTO 심부구속철근비 산정식을 변형한 새로운 심부구속철근비 식을 제시하였다. 그러나 표 1 및 그림 1에 보이는 바와 같이 주철근비가 증가함에 따라 축하중비의 영향과 복합적 작용으로 인하여 보정계수가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 기존 AASHTO 식에 축하중비의 영향을 고려한 식 (5)에 대한 축하중비와 주철근비의 변화에 따른 변위연성도의 영향을 분석하였다. 식(1)~(3)을 이용하여 정량적으로 분석한 각각의 2차 보정계수  $\gamma_2$ 를 표 2 및 그림 2에 나타내었으며, 이 결과를 이용하여 주철근비의 영향을 고려한 심부구속철근비 산정식을 유도하였다. 표 2의  $\Delta\rho_s$ 는 주철근비 증가에 따른 추가의 심부구속철근비로서 표 2의  $\gamma_2$ 에서 식 (5), 즉  $\rho_{s1}$ 을 뺀 값이다. 이  $\Delta\rho_s$ 는 식 (6)의 우측항에 해당하는 값으로서 식 (7)과 같이 계산하였다. 또한  $\alpha$ 와  $\beta$ 는  $\beta$ 를 가정한 후  $\alpha$ 를 구하였으며 이들 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2의  $\alpha$ 와  $\beta$  값을 보면  $\beta$ 가 2.0일 때  $\alpha$ 의 변동계수는 59.4%로서 가장 적게 나왔으며 이때의 평균값은 2.91이다. 따라서 이상의 결과를 이용하여 식 (6)을 식 (8)과 같이 나타내었고, 그림 3에 식 (8)을 이용하여 모든 실험체들의 분석결과를 나타내었다.

표 2 주철근비와 축하중비의 증가에 따른 분석결과

Axial force ratio		Longitudinal steel ratio					
		1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	
$\gamma_2$	15%	-				1.366	
	20%	-	0.929	1.099	1.299		
	30%	-	0.420	1.114	1.893		
	40%	-		1.289			
$\Delta\rho_s$	15%	-				0.0016	
	20%	-		0.0005	0.0023		
	30%	-		0.0011	0.0076		
	40%	-		0.0034			
$\beta=0.0$	15%	-				0.079	$\bar{\alpha}=0.21$ $\sigma_\alpha=0.18$ $V_\alpha=87.8\%$
	20%	-		0.051	0.150		
	30%	-		0.105	0.509		
	40%	-		0.336			
$\beta=1.0$	15%	-				0.529	$\bar{\alpha}=0.74$ $\sigma_\alpha=0.52$ $V_\alpha=70.7\%$
	20%	-		0.256	0.752		
	30%	-		0.349	1.697		
	40%	-		0.840			
$\beta=1.5$	15%	-				1.366	$\bar{\alpha}=1.45$ $\sigma_\alpha=0.92$ $V_\alpha=63.5\%$
	20%	-		0.573	1.682		
	30%	-		0.637	3.097		
	40%	-		1.328			
$\beta=2.0$	15%	-				3.528	$\bar{\alpha}=2.91$ $\sigma_\alpha=1.73$ $V_\alpha=59.4\%$
	20%	-		1.282	3.760		
	30%	-		1.163	5.655		
	40%	-		2.100			
$\beta=2.5$	15%	-				9.108	$\bar{\alpha}=6.03$ $\sigma_\alpha=3.64$ $V_\alpha=60.4\%$
	20%	-		2.866	8.408		
	30%	-		2.123	10.325		
	40%	-		3.320			

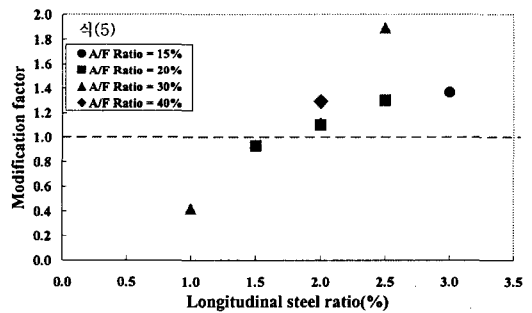


그림 2 축하중비와 주철근비에 따른 식 (5)의 보정계수

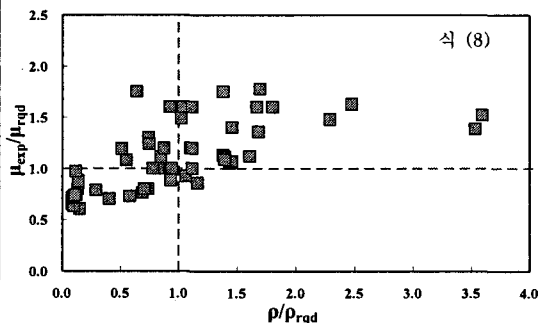


그림 3 식 (8)에 대한 실험결과 분석

$$\rho_{s2} = \frac{A_{sh}}{ah} = 1.12 \frac{f_{ck}}{f_y} \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + \alpha(\rho_t - 0.01) \left( \frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^\beta \quad (6)$$

$$\Delta\rho_s = (\gamma_2 - 1) \times \rho_{s1} = \alpha(\rho_s - 0.01) \left( \frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^\beta \quad (7)$$

$$\rho_{s2} = \frac{A_{sh}}{ah} = 1.12 \frac{f_{ck}}{f_y} \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 2.91(\rho_t - 0.01) \left( \frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^2 \quad (8)$$

### 3. 심부구속철근비 제안

식 (8)은 실험체들의 변위연성도 평균값을 기초로 하여 유도된 심부구속철근비 산정식이므로 안전성이 확보되어야 한다. 그림 3에 나타난 실험결과에 대하여 요구연성도를 만족하기 위한 심부구속철근비 비율은 식 (8)의 82.2%에 표준편차는 0.487이고 변동계수는 59.2%로 나타났다. 따라서 이 결과를 이용하여 요구연성도를 만족할 확률이 95% 이상이 되도록 다음 식 (9)와 같이 보정하였으며, 식 (9)에 대한 신뢰도는 97%를 상회하는 결과(k=1.987)을 나타내었다. 또한 주철근 좌굴방지를 위한 최소 심부구속철근비 규정을 도입하였다. 그림 4에 식 (9)에 대한 실험결과는 나타내었으며, 그림 5는 제안된 식 (9)와 다른 설계식들과의 비교한 것이다.

$$\rho_s = \frac{A_{sh}}{ah} = \text{Max} \left[ 2.0 \frac{f_{ck}}{f_y} \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 5.2(\rho_t - 0.01) \left( \frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^2, \frac{\sum A_s f_y s}{110 f_{yh} d_b B' s} \right] \quad (9)$$

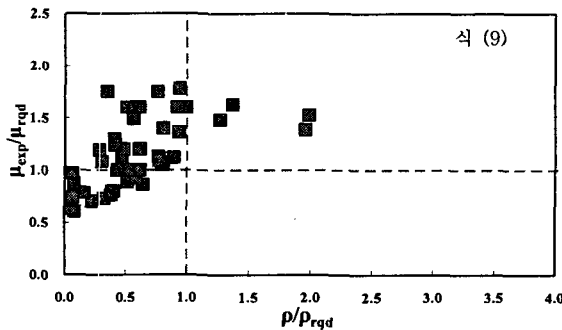


그림 4 식 (9)에 대한 실험결과 분석

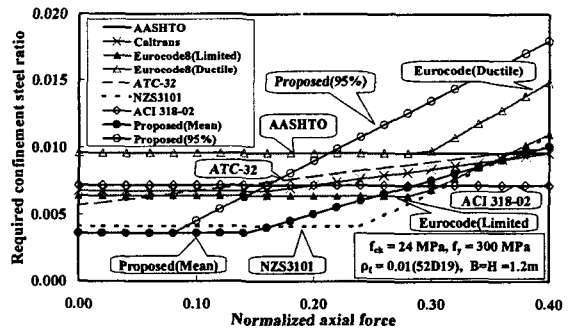


그림 5 사각형 철근콘크리트 교각의 심부구속철근비 비교

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업 (과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 이대형, 박창규, 김현준, 정영수 (2005), "원형 철근콘크리트 교각의 내진성능(1) : 심부구속철근비 영향변수 평가", 한국콘크리트 학회 논문집, Vol. 17, No. 4, pp. 603~611.
2. 박창규 (2005), "철근콘크리트 교각의 내진성능평가를 위한 심부구속철근비에 관한 연구", 중앙대학교 박사학위 논문.