

## 내부보강형 CFT 기둥-기초 연결부의 거동특성에 대한 연구

김희주<sup>1</sup> · 함준수<sup>2</sup> · 정진일<sup>2</sup> · 황원섭<sup>3</sup>

인하대학교 토목공학과 박사<sup>1</sup>, 인하대학교 토목공학과 박사과정<sup>2</sup>, 인하대학교 사회인프라공학과 교수<sup>3</sup>

### A Study on Behavioral Characteristics of Inner Reinforced CFT Column-to-Foundation Connections

Kim, Hee-Ju<sup>1</sup> · Ham, Jun-Su<sup>2</sup> · Chung, Jin-Il<sup>2</sup> · Hwang, Won-Sup<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD., Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea

<sup>2</sup>PhD. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea

**Abstract:** In this study, circular sectional concrete-filled tube(CFT) column-to-foundation connections were numerically investigated in order to improve their structural details. A inner reinforced specimen with high-tension bolts and inner deformed bars was adopted from a previous experimental study to make the numerical model. The validity of the numerical method was verified through comparing the experimental results with the analysis's ones. In order to optimize design variables about the inner reinforced model, a number of numerical analyses were conducted for various variables. Finally, this study suggested the optimum variables about the reinforced circular sectional CFT column-to-foundation connections.

**Key Words:** CFT column-to-foundation connections, inner reinforced model, inner deformed bars, high-tension bolts

#### 1. 서론

원형단면을 가진 CFT 기둥의 경우 기초콘크리트와의 연결을 위해 하부에 베이스플레이트를 설치하게 된다. 설치된 베이스플레이트를 연결하기 위해 앵커를 설치하게 되는데 상부의 하중을 지지하기 위해 앵커와 함께 이중 베이스플레이트로 연결상세를 적용하고 있다. 교량의 상부구조를 충분히 지지하기 위해서는 2열, 3열의 앵커가 배치되는데 이는 연결부의 구조상세의 복잡함을 가져오고 시공성이 떨어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 연결부의 합리적인 설계와 경제적인 시공성 확보, 연결성능 향상을 위한 구조상세를 제시

하고자 한다. 현재 국내·외에서는 교각과 기초의 구조상세에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 이대용 등(2008)은 기초앵커부의 접합부 설계를 위해 해석적인 방법을 통하여 접합부 강도를 평가하고, 구조물의 거동에 영향을 미치는 베이스플레이트의 두께, 앵커볼트의 강성 등에 대한 영향을 분석하였다. 국외의 경우 Astaneh 등(1992)이 베이스플레이트의 실험을 통하여 안정적인 구조물의 파괴에 대해서 연구하고 이를 제안하고 있다. 하지만 현재 구물의 연결형식에 대한 연구보다 교각부의 내진성능을 향상시킬 수 있는 구조상세에 대한 연구위주로 진행되고 있는 실정이다. 또한, 원형단면을 가진 교각부에 비해 각형단면, I형단면에 대한 실험 및 수치해석 연구가 주를 이루고 있다.

**주요어:** 원형단면 CFT 기둥-기초 연결부, 내부보강형 모델, 내부철근, 고장력 볼트

**Corresponding author:** Hwang, Won-Sup

Department of Civil Engineering, Inha University, Inha-ro 100, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea.

Tel: +82-32-860-7570, Fax: +82-32-873-7560, E-mail: [hws@inha.ac.kr](mailto:hws@inha.ac.kr)

Received December 9, 2014 / Revised December 12, 2014 / Accepted December 23, 2014

따라서 본 연구에서는 원형단면 CFT 기둥-기초 연결부에 대한 구조상세의 합리화를 위하여, 기존의 문제점을 분석하고, 개선된 연결구조상세를 제시하여 실험을 통해 검증된 해석방법을 통해 다양한 설계변수의 검토를 하고자 한다.

## 2. 수치해석 모델

### 2.1 해석모델의 제원

원형단면 CFT 기둥-기초 연결부의 개선된 구조상세에 대한 설계변수의 거동특성을 분석하기 위하여 고강도강을 적용한 기초앵커부 시스템 개발((주)포스코건설, 2013)에서 제시한 시험체를 사용하여 구조해석을 실시하였다. 이는 기둥부와 기초부 연결에 사용되는 앵커프레임의 제거에 관한 실험연구로 다양한 구조상세에 대한 형식을 실내실험을 통하여 검증한 연구과제이다. 본 연구에서는 실험에 사용했던 시험체 중 내부보강형에 대한 구조상세를 선정하고 이에 대한 해석모델을 Table 1과 같이 작성하였다. 이는 앵커프레임을 생략하고 고장력 볼트와 내부철근을 사용한 내부보강형에 대한 시험체로 기존의 연결부 구조상세에 비해 간략한 시공과 휨거동에 유리한 장점이 있는 형식이다. Fig. 1은 내부보강형 시험체의 개략도이다.

Table 1. Dimensions of Test Specimen

구분		시험체 상세치수 (mm)	
기둥부	교각길이	2,500	
	직경	외부직경	518
		내부직경	500
베이스부	베이스플레이트 간격	375	
	베이스플레이트 두께	25	
	리브 두께	15	
기초부	가로길이	2,210	
	세로길이	1,710	
	높이	900	

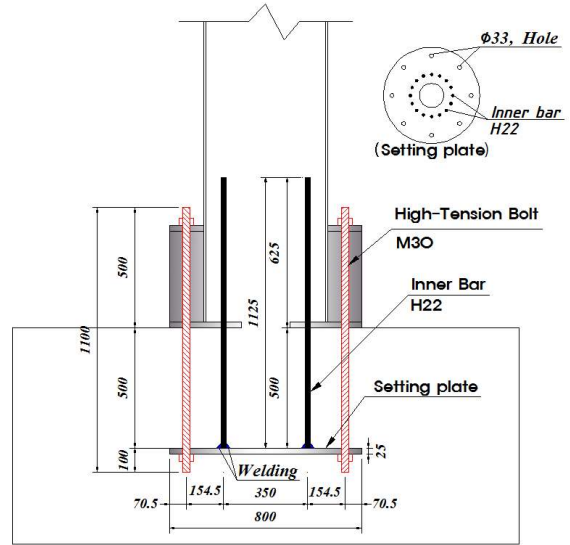


Fig. 1 Details of Test Specimen

### 2.2 해석방법

현장실험으로 확인하기 어려운 설계변수들에 대한 거동특성을 확인하기 위하여 유한요소해석을 실시하였고, 정확한 해석을 위하여 콘크리트와 강재의 재료에 대한 정의를 다음과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서 사용된 콘크리트의 응력-변형률 관계는 Fig. 2와 같으며, 식 (1)과 같이 Mander(1988)가 제안한 식을 사용하였다. 강관 내부의 콘크리트는 구속효과를 고려한 콘크리트 구성식을 적용하였고, 기초 콘크리트는 구속되지 않은 콘크리트 구성식을 사용하였다. 강관과 베이스부에 사용된 강재와 앵커부의 고장력 볼트는 재료인장시험 값인 Table 2를 적용하였다.

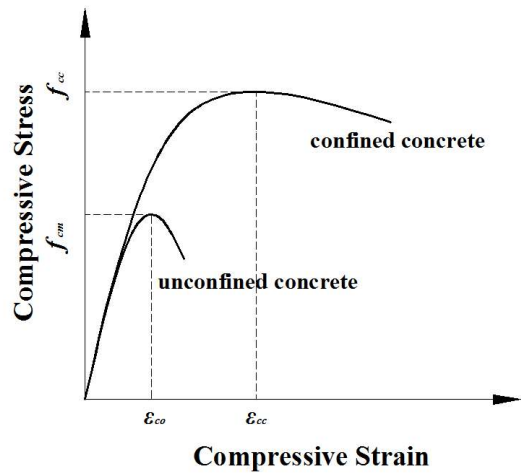


Fig. 2 Stress-Strain Relations of Concrete

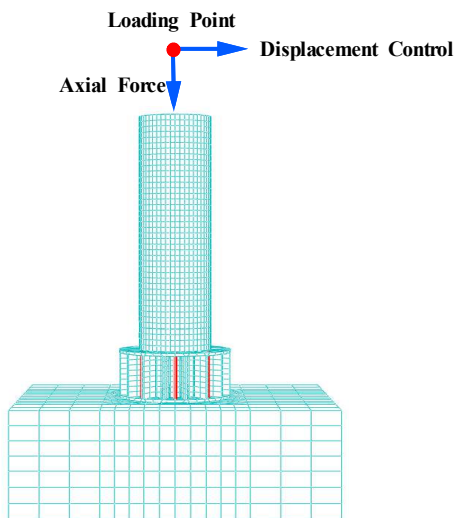
$$\frac{f_c}{f_{cc}} = \frac{r \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right)}{r - 1 + \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \right) r} \quad (1)$$

여기서,  $f_c$  : 콘크리트의 압축응력  
 $f_{cc}$  : 콘크리트의 최대압축강도  
 $\epsilon_c$  : 콘크리트의 압축변형률  
 $\epsilon_{cc}$  : 콘크리트의 최대압축강도변형률  
 $r$  : 곡선접합계수(curve fitting factor)

**Table 2. Mechanical Properties of Materials**

구 분	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
강관	322.82	520.98	31.33
베이스부	378.81	590.11	21.57
고장력 볼트	552.64	723.94	16.54

원형단면 CFT 기둥-기초부의 다양한 설계변수에 대한 거동특성을 파악하기 위해 상용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.10-1을 이용하였다. Fig. 3은 내부철근이 보강된 해석모델에 대한 요소분할형상으로 기둥-기초부의 중요한 구조상세에 해당하는 고장력 볼트와 내부철근의 모델링은 beam 요소를 사용하여 구현하였다. 또한, beam 요소로 구현한 고장력 볼트와 내부철근에 embedded 기능을 적용하여 콘크리트와의 부착력을 적용하여 각 부재와의 연결을 구현하였다. 하중재하점은 실내실험시 재하프레임과 연결된 위치인 0.825m 지점에서 축하중과 횡하중을 동시에 재하하는 형태로 수치해석을 실시하였다.

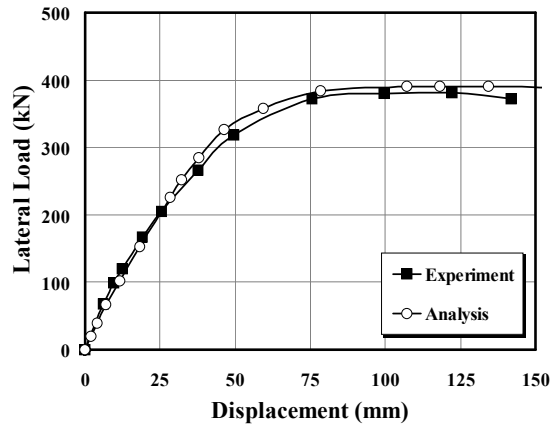


**Fig. 3 Mesh Shape of Numerical Model and Location of Measurement**

### 2.3 해석모델의 타당성 검증

현장실험으로 확인하기 어려운 설계변수들의 거동 특성을 분석하기 위해 수치해석적인 방법을 사용하므로 수치모델에 대한 타당성 검증이 필요하다. 본 연구에서는 고강도강을 적용한 기초앵커부 시스템 개발 ((주)포스코건설, 2013)에 제시된 하중재하실험 결과에서 얻은 내부보강형의 하중-변위관계곡선과 해석결과와의 비교를 통하여 해석방법의 타당성을 검증하였다.

Fig. 4와 같이 초기 탄성영역에서의 기울기는 실험과 수치해석에 의한 경향이 유사함을 알 수 있으며 구조물의 항복점도 차이가 없음을 확인하였다. 내부보강형의 최대하중은 381.6kN이며 수치해석의 경우 386.5kN으로 약 1%의 오차가 발생하였으므로 해석방법이 실제구조물의 거동과 유사하게 거동하는 것으로 판단된다.



**Fig. 4 Load-Displacement Relation of Experimental and Analytical Results**

### 2.4 설계변수의 설정

기존의 구조상세와 달리 내부보강형에 대해 최적설계변수를 제안하기 위하여 다양한 설계변수를 검토하였다. Table 3와 4는 내부철근의 수(BA-series)와 기둥부 내부의 철근 정착길이(BL-series)에 대한 설계변수로 이에 대한 거동특성을 분석하였다. 또한, 내부철근의 수를 0~32개로 변화시키며 원형단면 중심각( $\alpha$ )에 따른 거동특성의 영향을 Fig. 5와 같이 해석모델을 작성하여 분석하였다. 기둥부 내부의 정착길이는 기둥부와 베이스부 상단에 위치한 베이스플레이트의 경계면을 기준으로 하여 정착길이비( $L_b/L_{exp}$ )를 산정하였다. 이를 통하여 정착길이에 따른 영향을 분석하고 내부보강형에 대한 설계범위를 제안할 수 있다.

내부철근과 함께 리브에 대한 설계변수를 검토할 수 있으며 이는 Table 5~Table 7과 같다. 리브는 원형단면 중심각( $\alpha$ )에 따라 4~32개로 개수(RA-series)를 변화시켜 배치하였으며 이에 대한 강도평가를 실시하

였다. 리브의 수와 함께 리브의 형상(RS-series)에 대한 검토를 실시하였으며 이는 Fig. 6과 같이 리브의 높이( $h_r$ )를 기준으로 하여 0~1.0으로 변화한 형상비에 대해 검토하였다. 마지막으로 리브의 두께( $t_r$ )를 5~30까지 변화시켜 해석모델(RT-series)을 작성하였으며 이에 대한 거동특성을 분석하였다.

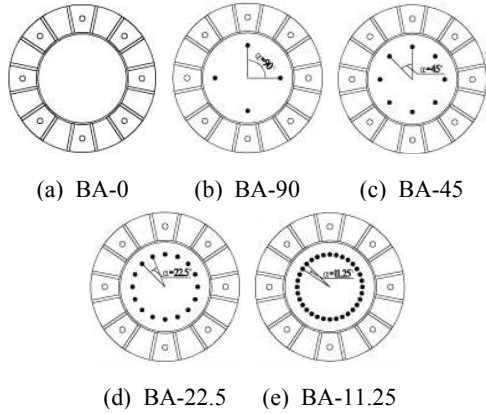


Fig. 5 Shapes of BA-series

Table 3. Variables of BA-series

구분	$n$ (EA)	$\alpha$ (degree)	$\frac{n}{n_{exp}}$
BA-series	BA-0	0	0
	BA-90	4	0.25
	BA-45	8	0.5
	<b>BA-22.5</b>	<b>16</b>	<b>1.0</b>
	BA-11.25	32	2

Table 4. Variables of BL-series

구분	$L_b$ (mm)	$\frac{L_b}{L_{exp}}$
BL-series	BL-0.2	0.2
	BL-0.4	0.4
	BL-0.8	0.8
	<b>BL-1.0</b>	<b>1.0</b>
	BL-1.2	1.2
	BL-1.6	1.6

Table 5. Variables of RA-series

구분	$n$ (EA)	$\frac{n}{n_{exp}}$
RA-series	RA-90	0.25
	RA-45	0.5
	<b>RA-22.5</b>	<b>1.0</b>
	RA-11.25	2.0

Table 6. Variables of RS-series

구분	$b'_r$ (mm)	$\frac{b'_r}{h_r}$
RS-series	<b>RS-0</b>	<b>0</b>
	RS-0.25	93.75
	RS-0.5	187.5
	RS-0.75	281.25

Table 7. Variables of RT-series

구분	$t_r$ (mm)	$\frac{h_r}{t_r}$
RT-series	RT-75	75
	RT-37.5	37.5
	<b>RT-25</b>	<b>25</b>
	RT-18.75	18.75

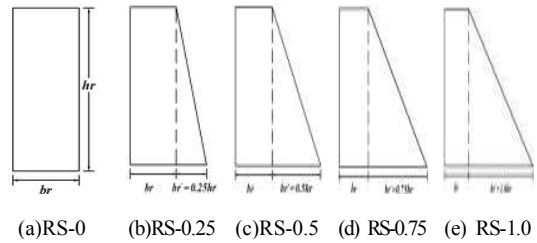


Fig. 6 Shapes of RS-series

### 3. 해석결과

#### 3.1 내부철근에 대한 영향

##### 3.1.1 내부철근 배치형상

Fig. 7은 BA 모델의 모멘트비-변위 관계를 나타낸 것이다. 내부철근의 배치형상에 따라 설치되는 철근의 개수가 달라지며 이는 90° (4EA), 45° (8EA), 22.5° (16EA), 11.25° (32EA)로 나타낼 수 있다. 또한, 내부철근의 보강방법에 대한 강도상승효과를 비교하기 위하여 내부철근이 없는 BA-0(0EA)에 대한 해석을 추가하여 나타내었다. 내부철근의 배치형상에 따른 강도상승은 구조물의 내부에 배치되는 철근의 수가 많아질수록, 즉 내부에 배치되는 철근의 중심각이 작아질수록 강도는 증가하게 된다. 그러므로 앵커부에 사용된 고장력 볼트의 적용성을 향상시키기 위해서는 내부철근의 배치가 강도상승의 효과를 가져올 수 있으며, BA-11.25(32EA)의 경우 가장 큰 폭으로 강도가 상승함을 알 수 있다.

Fig. 8은 실내실험에 의한 기둥부의 극한강도( $M_u^c$ )와 유한요소해석에 의한 극한강도( $M_{uo}$ )의 비를 비교한 그림으로 내부 철근배치의 중심각( $\alpha$ )의 영향을 철근 개수를 기준으로 하여 표기하였다. 내부보강형의

경우 내부에 보강되는 철근과 앵커의 수가 많아질수록 강도상승 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. BA-45인 16개 이상 내부철근이 보강되어야 극한강도 측면에서 유리한 것으로 판단되며 이후 철근배치에 따라 비례적으로 강도가 상승하는 것을 확인할 수 있다.

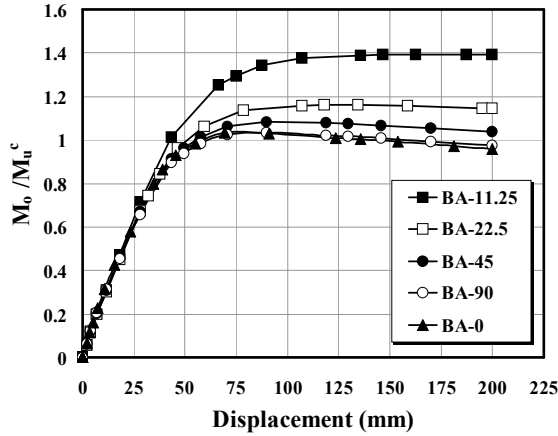


Fig. 7 Moment-Displacement Relations of BA-series

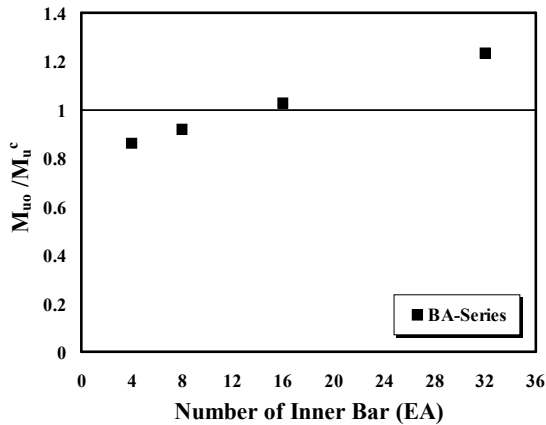


Fig. 8 Ultimate Moment Ratio according to Inner Deformed Bar's Number

### 3.1.2 내부정착길이에 대한 영향

BL 모델의 모멘트비-변위 관계는 Fig. 9과 같이 나타낼 수 있다. 내부철근의 묻힘길이는 기둥부 하단으로부터 길이방향까지 설치된 것을 말하며 이를 시험체의 묻힘길이와 비교하여 비율을 산정할 수 있다.

모멘트비-변위 관계를 통하여 내부철근의 묻힘길이가 가장 작게 설치된 BL-0.25와 1000mm의 길이인 BL-2.0의 극한강도는 거의 차이가 없는 것을 확인하였다. 이는 내부철근의 묻힘길이는 구조물의 강도에 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

Fig. 10은 내부철근의 묻힘길이와 시험체 묻힘길이의

비( $L_b/L_{exp}$ )에 대한 영향을 철근 개수를 기준으로 하여 표기한 것으로, 내부철근 묻힘길이와 시험체 묻힘길이에 대하여 구조물의 강도상승효과는 거의 없으며 내부보강에 대한 강도는 길이에 대한 영향보다는 철근개수의 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

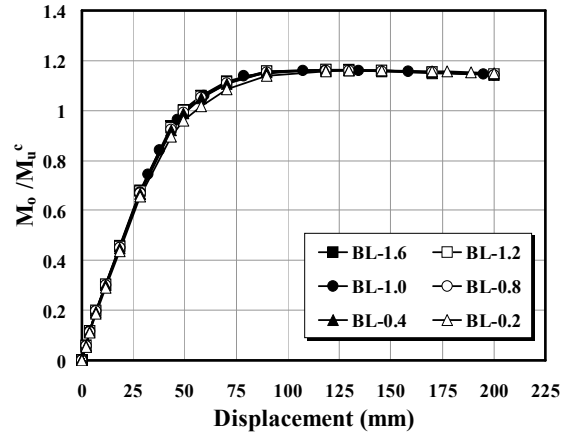


Fig. 9 Moment-Displacement Relation of BL-series

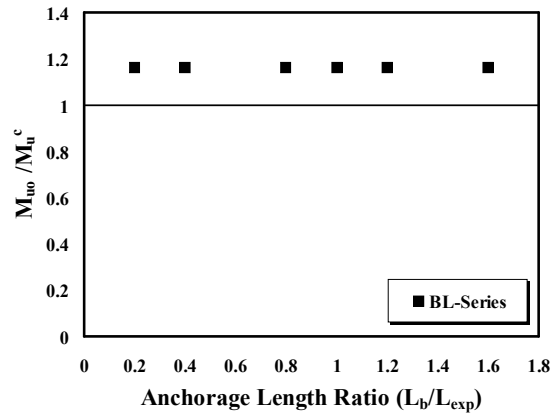


Fig. 10 Ultimate Moment Ratio according to Embedment Length( $L_b/L_{exp}$ )

## 3.2 리브에 대한 영향

### 3.2.1 리브배치에 대한 영향

Fig. 11은 RA 모델의 모멘트비-변위 관계를 나타낸 것이다. 리브의 배치형상에 따라 설치되는 리브의 개수가 달라지며 이는 90° (4EA), 45° (8EA), 22.5° (16EA), 11.25° (32EA)로 나타낼 수 있다.

리브의 배치형상(리브개수)에 따른 강도상승효과는 베이스부에 배치되는 리브의 수가 많아질수록, 즉 내부에 배치되는 리브의 중심각이 작아질수록 강도는 증가하게 되는 것을 확인할 수 있다. RA-45와 RA-90의 경우 본 연구에서 제안하고 있는 개선된 구조상세인 내부보강형인 RA-22.5에 비해 강도가 감소하는 것

으로 나타났다. 이는 일정한 개수 이상의 리브가 배치되어야 고장력 볼트의 성능을 발휘할 수 있는 것으로 판단된다.

베이스부에 위치한 리브개수의 영향을 확인하기 위하여 Fig. 12과 같이 나타낼 수 있으며, 리브의 경우 내부보강형의 구조상세는 리브개수가 감소할수록 강도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 고장력 볼트의 성능을 적절히 발휘하기 위해서는 최소 16개 이상의 리브가 설치되는 것이 적절한 것으로 판단된다. 그러나 리브의 중심각은 베이스부에 배치한 고장력 볼트의 수와도 관계되므로 리브의 수를 늘리는 것은 고장력 볼트의 배치를 고려하여야 한다.

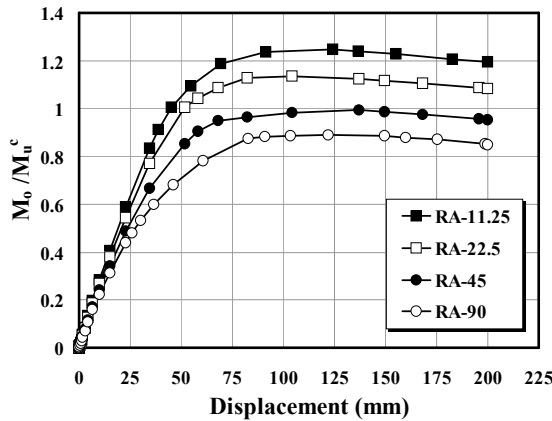


Fig. 11 Moment-Displacement Relation of RA-series

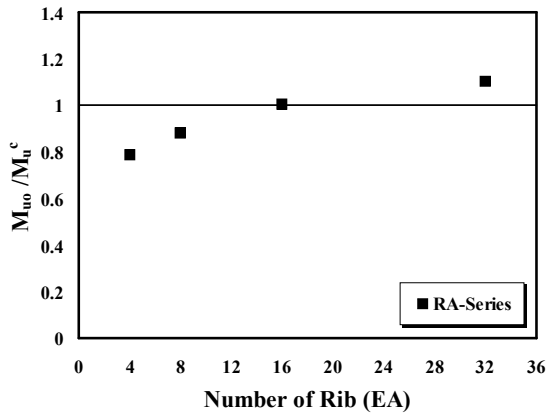


Fig. 12 Ultimate Moment Ratio according to Rib's Number

### 3.2.2 리브 형상비에 대한 영향

Fig. 13은 RS 모델의 모멘트비-변위 관계를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 주요 설계변수로 내부철근과 함께 리브에 대한 설계변수검토를 실시하였다. RS 모델은 리브의 높이( $h_r$ )와 리브의 내민길이( $b_r$ )에 대한 형상비( $b_r/h_r$ )를 통하여 0.25~1.00으로 모델을 설정할 수 있다.

리브의 형상비는 베이스부의 하단에 위치한 베이스 플레이트의 크기에 대한 영향을 말하는 것으로 기존 형인 직사각형 형태의 RS-0과 달리 리브의 형상이 사다리꼴 형태로 바뀌었을 때 강도상승의 효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 RS-0.5 이후의 형상비에서는 강도 상승폭이 서서히 감소하여 특히 RS-0.75 이상에서는 그 영향이 거의 없음을 확인하였다.

Fig. 14는 무차원 극한강도에 대한 리브의 형상비의 영향을 나타낸 것이다. 개선된 구조상세인 내부보강형의 경우에 비해 베이스부의 하단에 위치한 베이스 플레이트의 크기가 커지면 강도상승에 유리하다는 것을 그림을 통하여 확인하였다. 반면, 형상비가 0.75 이상이 되면 강도는 상승하지 않는 것을 알 수 있으며 적절한 형상비는 리브 높이의 약 1/2인 0.5에서 비례적인 효과를 발휘하는 것을 확인할 수 있다.

그러므로 형상비가 커짐에 따라 강도상승의 효과가 나타나지만, 기초콘크리트의 크기도 커지므로 이에 대한 판단이 필요하며 본 연구에서 제시된 내부보강의 경우 형상비가 0.75이상에서는 강도상승 효과가 없는 것으로 판단된다.

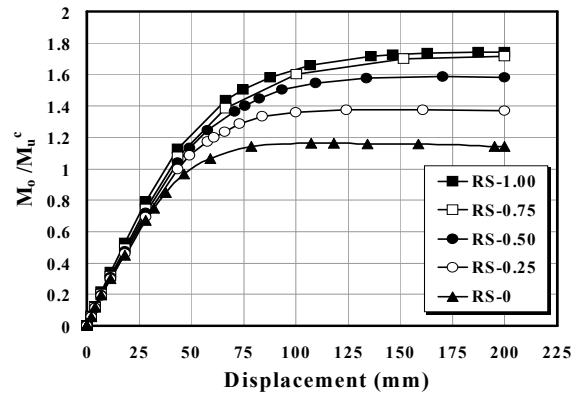


Fig. 13 Moment-Displacement Relation of RS-series

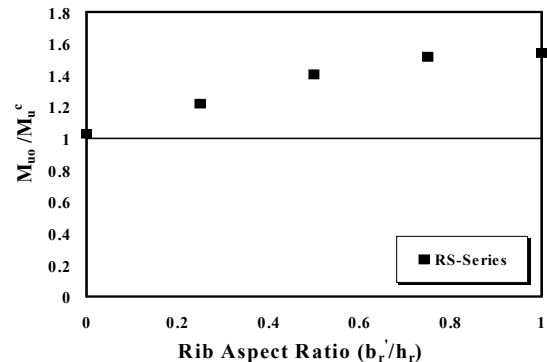


Fig. 14 Ultimate Moment Ratio according to Rib's Shape( $b_r/h_r$ )

### 3.2.3 리브 높이-두께비에 대한 영향

Fig. 15는 RT 모델의 모멘트비-변위 관계를 나타낸 것이다. RT 모델은 리브의 높이( $h_r$ )와 리브의 두께( $t_r$ )에 대한 두께비( $h_r/t_r$ )를 통하여 12.5~75의 비율로 모델을 설정하였다.

리브는 이중 베이스플레이트의 보강재 역할을 하는 것으로 높이-두께비에 대한 영향을 고려하였을 때 37.5(10mm) 이상의 비를 가질 경우 강도상승 효과가 나누어지는 것을 확인할 수 있다. 리브의 두께가 얇아지면 기둥부에 작용하는 하중을 기초콘크리트와 앵커에 전달하기 위한 연결부의 강성감소로 인하여 강도가 감소한다. 이 때 리브의 두께는 높이와 비교하였을 때 최소 25(15mm) 이상의 두께를 확보하였을 때 강도상승 효과가 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 16은 리브의 높이-두께비의 영향을 나타낸 것으로 개선된 구조상세인 내부보강형의 두께비는 25(15mm)를 기준으로 하여 강도상승효과가 차이가 발생하였다. 25(15mm)이하의 두께비를 가질 경우 고장력 볼트의 성능을 발휘하지 못하고 강도가 감소하는 경향을 보였으며, 25(15mm)이상의 두께비를 가질 경우 강도는 상승하지만 그 효과가 크지 않음을 알 수 있다.

그러므로 베이스부에 위치한 리브는 베이스플레이트의 두께에 비해 최소 25(15mm)이상의 두께를 확보하게 되면 연결부의 성능측면에서 강도상승효과가 있는 것으로 판단된다.

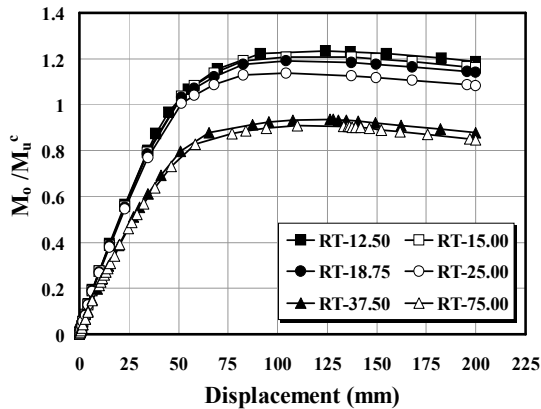


Fig. 15 Moment-Displacement Relation of RT-Series

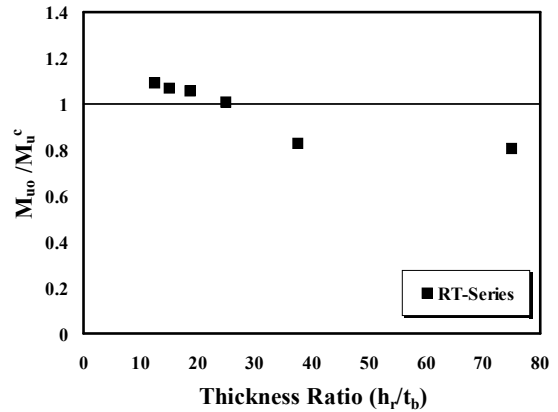


Fig. 16 Ultimate Mement Ratio according to Rib's Thickness( $h_r/t_b$ )

## 4. 결론

본 연구에서는 하중재하실험을 통하여 검증된 수치 해석방법을 통하여 내부보강형의 구조상세에 대한 변형성능 및 강도특성을 확인하였다. 이를 통하여 고장력 볼트 적용성을 향상시킬 수 있는 구조상세를 해석 모델로 선정하여 다양한 설계변수에 대한 검토를 실시하였다. 이를 통한 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 개선된 구조상세인 내부보강형의 구조상세를 기준으로 유한요소해석을 실시하였으며 실험결과와의 비교를 통한 해석방법의 타당성을 검증하였다. 이를 통해 다양한 설계변수의 검토를 실시하였다.

(2) 내부에 보강된 내부철근의 경우 기둥부에 설치된 문힘길이에 대한 영향보다 내부에 배치된 철근개수의 영향이 지배적이며 최소 16개 이상의 설치가 강도성능 측면에서 유리하다고 판단된다.

(3) 리브의 경우 베이스부에 배치되는 리브의 수가 많아질수록, 즉 내부에 배치되는 리브의 중심각이 작아질수록 강도가 증가함을 확인할 수 있다. 고장력볼트의 적절한 성능발휘를 위해서는 16개 이상을 확보해야 하나, 고장력 볼트의 수와 관련하여 적절한 배치가 필요한 것으로 판단된다.

(4) 리브의 높이와 길이에 대한 형상비( $b'_r/h_r$ )가 0.75 이상의 경우의 리브는 강도상승효과가 없다는 것을 알 수 있다. 또한, 리브의 높이-두께비는 최소 25(15mm)이상이 확보되어야 구조물의 성능을 발휘하는 것을 확인하였다.



이상에서 서술한 연구결과는 앞으로 내부보강형의 CFT 기둥 기초 연결부의 합리적인 구조상세를 제시 하는데 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향후 본 연구를 통해 제시된 설계변수와 범위를 기준으로 하여 원형단면 CFT 교각 기초부에 대한 적용성 및 활용법을 계속적으로 연구해야 할 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 인하대학교의 연구비 지원사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

### References

- AISC Committee (2007), *Steel Construction Manual, 14th ed.*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
- Astaneh, A., Bergsma, G., Shen, J. H. (1992), "Behavior and Design of Base Plates for Gravity, Wind and Seismic Loads," *Proceeding of the AISC National Steel Construction Conference*
- Choi, J. W., Seo, S. H., Park, J. S., Joo, H. J., Yoon, S. J. (2013), "The Structural Behavior of Eccentrically Loaded Hybrid FRP-Concrete Composite Columns," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 4, No. 4, pp. 1-8.
- Hognestad, E., Hanson, N. W., McHenry, D (1955), "Concrete Stress Distribution in Ultimate Stress design," *ACI Journal*, pp. 45-46.
- Kim, H. J. (2013), A Study for Structural Detail Improvement of CFT Column-Foundation Connections, *Ph. D. Thesis*, Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea. (in Korean).
- KSCE Committee (2008), *Bridge Design Specification*, Korean Society of Civil Engineers, Seoul, Korea. (in Korean).
- Lee, D. Y., Subhash C. (2008), "God Exposed Column-Base Plate Connections Bending About Weak Axis: 1. Numerical parametric Study," *International Journal of Steel Structures*, pp. 11-27.
- Lee, D. Y., Subhash C. (2008), "God Exposed Column-Base Plate Connections Bending About Weak Axis: 2. Experimental Study," *International Journal of Steel Structure*, pp. 29-41.
- Lee, Y. G., Choi, J. W., Park, J. S., and Yoon, S. J. (2011), "Compression Strength Test of FRP Reinforced Concrete Composite Pile," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 2, No. 4, pp. 19-27. (in Korean).
- Mander, J., Priestley, M., Park, R. (1988), "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826.
- Park, J. S., Joo, H. J., Nam, J. H., and Yoon, S. J. (2010), "Structural Behavior of Flexurally Reinforced FRP-Concrete Composite Compression Member with FRP," *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol. 1, No. 3, pp. 10-16. (in Korean).
- Park, K. D., Kim, H. J., and Hwang, W. S. (2012), "Experimental and Numerical Studies on the Confined Effect of Steel Composite Circular Columns Subjected to Axial Load," *International Journal of Steel Structures*, pp. 253-265.
- Park, Y. M., Hwang, W. S., Yoon, T. Y., and Hwang, M. O. (2005), "A new Base Plate System using Deformed Reinforcing Bars for Concrete Filled Tubular Column," *Steel & Composite Structures*, pp. 375-394.
- Inha University (2013), *The Development of The System of Anchor Connections Applying The High Strength Steel*, POSCO, Incheon, Korea. (in Korean).