

# 고장력 볼트 기둥-기초 연결부의 강도특성에 관한 해석적 연구

황동아<sup>1</sup> · 황원섭<sup>2\*</sup> · 함준수<sup>3</sup> · 정진일<sup>3</sup>

<sup>1</sup>석사과정, 인하대학교, 토목공학과, <sup>2</sup>교수, 인하대학교, 사회인프라공학과,

<sup>3</sup>박사과정, 인하대학교, 토목공학과

## An Analytical Study on the Strength Behavior of Column-Foundation Connection with High Tension Bolts

Hwang, Dong A<sup>1</sup>, Hwang, Won Sup<sup>2\*</sup>, Ham, Jun Su<sup>3</sup>, Jeong, Jin Il<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master Candidate, Dept. of Civil Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Civil Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

<sup>3</sup>Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Inha University, Incheon, 22212, Korea

**Abstract** - In order to suggest a reasonable design for the circular concrete filled tube steel column-foundation connection applying high-tension bolts, Overall structural behavior and characteristics according to various variables of column-foundation connection are numerically analyzed using a commercial FE analysis program, ABAQUS. To that goal, finite element analysis is conducted on the basis of the previous study replacing anchor bolts to high-tension bolts, and the analytical results are validated by comparison with experimental results. Also, the various variables(embedded depth and grade of anchor, and height and thickness of rib) involved in behavior of the column-foundation connection are selected through analyzing the current design criteria, and the characteristics of the column-foundation connection are compared and analyzed according to the various variables. In case of the anchor bolts, Applying the high-tension bolts is more advantage and securing the embedded depth beyond  $0.5D$  is recommendable. In case of the rib, a minimum of  $0.5D$  for rib's height and  $0.4t_r$  for rib's thickness should be secured to develop the structural performance.

**Keywords** - Steel column-foundation connections, High-tension bolts, Rib, FE analysis

### 1. 서론

콘크리트와 강재의 장점을 활용한 콘크리트 충전 강관구조는 뛰어난 내진성능과 강성을 확보하기 때문에 기둥의 설계에서 자주 사용되고 있다.

이러한 구조의 강재 기둥과 기초 콘크리트의 연결은 앵커

볼트를 이용하여 설계 및 시공하고 있으며, 이때 연결부에 설치된 베이스플레이트 하면의 콘크리트는 압축력에 저항하고, 앵커볼트와 앵커프레임은 인장력에 저항하도록 설계되어진다. 또한, 수평력은 모든 앵커볼트에 균등하게 저항하도록 한다. 이와 같은 기둥-기초 연결부는 하중이 집중되는 기둥 하부의 강성을 향상시키기 위하여 베이스플레이트를 이중으로 설치하고, 이중 베이스플레이트 사이에 기둥으로부터의 하중을 앵커 및 베이스플레이트에 전달하는 보강재 역할을 하는 리브를 설치한다.

현재 기둥-기초 연결부에 대한 다양한 연구가 국내·외에서 진행되어 왔으며, 대표적인 연구는 다음과 같다. Yoo (2004)<sup>[1]</sup>는 축하중 및 횡하중을 받는 강재 기둥 베이스플레이트 접합부의 선형 및 비선형 거동을 구체화하여 파괴메카

Note.-Discussion open until October 31, 2016. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on December 8, 2015; revised March 16, 2016; approved on March 29, 2016.

Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-32-860-7570 Fax. +82-32-873-7560

E-mail. hws@inha.ac.kr

니즘을 규명하였으며, 다양한 설계변수에 따른 강재 기둥 베이스플레이트 접합부의 거동 분석을 통해 각 영향인자가 구조물 전체의 거동에 미치는 영향을 연구하였다. Lee and Lee (2005)<sup>[2]</sup>은 중심 축하중을 받는 H형강 기둥 베이스플레이트의 설계방법의 적정성을 조사하기 위하여 주각부 실험을 실시하였으며, 유한요소해석법을 이용하여 베이스플레이트의 두께에 따른 지압응력의 분포와 설계방법의 적정성을 분석하였다. 또한, Dajin(2006)<sup>[3]</sup>은 축하중, 작은 편심하중, 중간 편심하중 등과 같은 다양한 하중조건 하에서 원형 베이스플레이트의 허용응력설계법을 제시하였다.

하지만 현재 강재 기둥-기초 연결부에 대한 연구는 H형강 기둥과 단일 베이스플레이트에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 현행 설계기준에서는 이중 베이스플레이트, 리브와 앵커볼트에 대한 세부 설계규정이 미비하다.

원형 강재 기둥과 이중 베이스플레이트 연결부에 대한 연구는 다음과 같다. Park *et al.* (2005)<sup>[4]</sup>은 기둥-기초 연결부에 이형철근을 기둥의 내부와 앵커볼트에 적용하여 기초 콘크리트와 부착성을 높이고, 앵커프레임을 제거하여 연결부의 형태를 단순화시킨 새로운 기둥-기초 연결부 형식을 실험과 해석적 방법을 통하여 적용성을 연구하였다. Lee *et al.* (2011)<sup>[5]</sup>은 이형철근을 사용한 새로운 기둥-기초 연결부 형식에 대한 해석적 연구를 통하여 다양한 설계변수에 따른 연결부의 거동을 분석하였다. 그러나 이형철근만 사용한 연결 방법은 상부하중이 큰 교량과 같은 대용량 기초 연결부에 적용하기에는 어려움이 있다. Kim(2013)<sup>[6]</sup>은 기존의 복잡한 연결부와 앵커프레임에 의한 과도한 기초부의 설계를 개선하기 위하여 기존의 앵커볼트 대신 고장력 볼트를 사용하고 앵커프레임을 제거한 새로운 형태의 기둥-기초 연결부를 제시하였으며, 실험을 통하여 연결부의 보강상세에 따른 적용성을 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 고장력 볼트를 적용한 원형단면 콘크리트 충전 강재 기둥-기초 연결부의 합리적인 설계범위를 제안하기 위해 상용유한요소 해석프로그램인 ABAQUS 6.10을 사용한 수치해석적 방법을 통하여 강재 기둥-기초 연결부의 전반적인 구조적 거동특성을 분석하고, 강재 기둥-기초 연결부의 거동특성에 영향을 미치는 설계변수(앵커볼트의 문힘깊이, 앵커볼트의 강종, 리브의 높이, 리브의 두께)를 선정하여 이에 대한 강도평가를 실시하고자 한다.

## 2. 기둥-기초 연결부의 모델화

### 2.1 유한요소해석모델

본 연구에 사용된 해석모델은 원형단면 CFT 기둥 기초 연결부의 구조상세 개선에 관한 연구(Kim, 2013)<sup>[6]</sup>에서 사용된 실험체이다. 실험체는 현재 설계 및 시공되고 있는 기둥-기초 연결부의 복잡한 구조상세를 개선한 것으로 앵커프레임을 제거하고, 일반앵커 대신 고장력 앵커볼트를 사용하였다. 또한, 이중 베이스플레이트를 사용하고 그 사이에 리브를 설치하여 강재 기둥을 기초 콘크리트에 정착하였다. 이때, 총 8개의 고장력 볼트가 사용되었다. Fig. 1은 해석모델 및 실험체의 단면도이며, 상세제원은 Table 1에 나타내었다.

유한요소해석모델은 차원과 요구되는 역학적 거동에 따라 다양한 종류의 요소가 존재한다. solid 요소는 부피가 있는 구조물의 모델링에 주로 이용되며, 본 해석에서는 강재 기둥, 이중 베이스플레이트, 리브와 기초 콘크리트에 solid 요소를 사용하여 모델링하였다. 앵커볼트의 경우 개수가 많기 때문에 solid 요소를 사용하여 모델링 할 경우 절점간의 공유가 어렵고 해석시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 따라서 Fig. 2와 같이 beam 요소를 사용하여 앵커볼트를 모델링하는 것이 보다 합리적이다. beam 요소는 연결하고자 하는 두

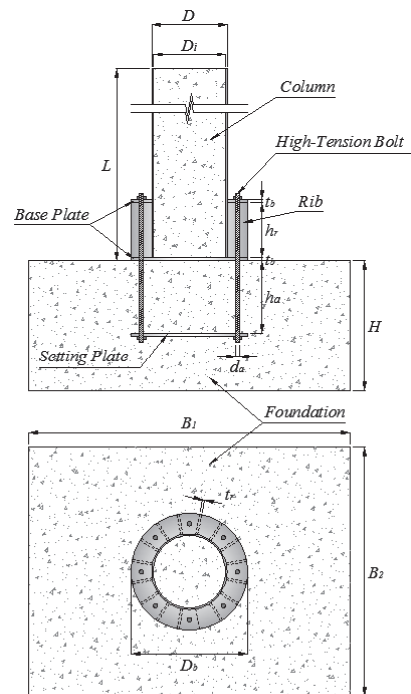


Fig. 1. Cross section of analysis model

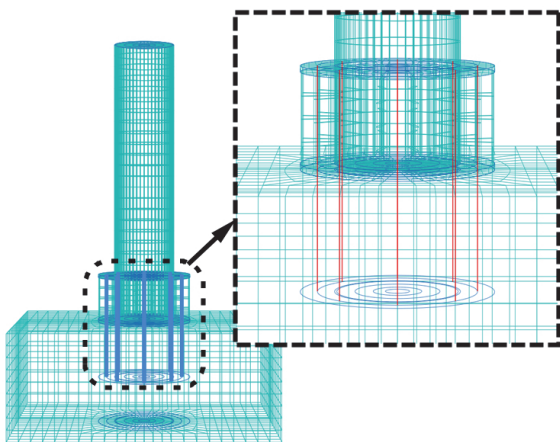
**Table 1.** Details of analysis model

Classification		Details (mm)
Column	Length ( $L$ )	2500
	Inside Diameter ( $D_i$ )	500
	Outside Diameter ( $D$ )	518
Baseplate	Diameter ( $D_b$ )	800
	Thickness ( $t_b$ )	25
	Height of Ribs ( $h_r$ )	375
	Thickness of Ribs ( $t_r$ )	15
Anchor Bolt	Diameter ( $d_a$ )	30
	Embedded depth ( $h_a$ )	500
Foundation	Width ( $B_1$ )	2210
	Length ( $B_2$ )	1710
	Height ( $H$ )	900

절점을 지정하여 선으로 연결한 뒤 직경을 입력하여 앵커볼트와 동일하게 형상을 모델링하는 요소이다<sup>[5]</sup>.

### 2.2 재료특성

본 연구에 사용된 콘크리트의 재료특성은 식 (1)과 같이 Mander *et al.* (1988)<sup>[7]</sup>이 제안한 콘크리트 구성식을 사용하였으며, 강관 내부의 충전 콘크리트는 구속 상태 콘크리트를 적용하였고 기초 콘크리트는 비구속 상태 콘크리트 구성식을 적용하였다. Table 2에 나타낸 것과 같이 강관 내부에 충전된 콘크리트와 기초 콘크리트의 압축강도는 선행 연구 (Kim, 2013)<sup>[6]</sup>의 콘크리트 압축강도 시험을 통하여 얻은 평균압축강도 27MPa와 40MPa를 각각 적용하였으며, Fig. 3



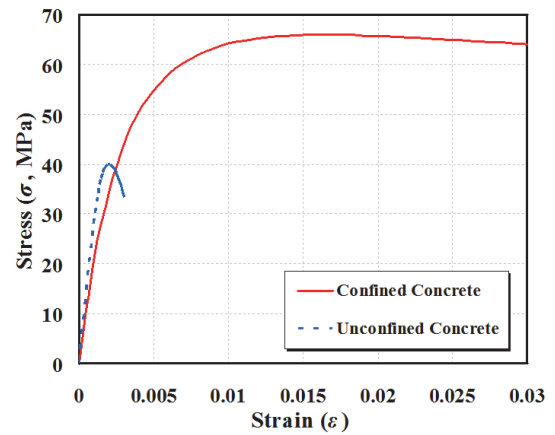
**Fig. 2.** Analysis model (Anchor)

과 같이 식 (1)과 Table 2의 평균압축강도를 이용하여 산출한 콘크리트의 응력-변형률 관계를 해석모델에 적용하였다.

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

여기서,  $f_c$  : 콘크리트의 압축응력  
 $f_{cc}$  : 콘크리트의 최대압축응력  
 $\epsilon_c$  : 콘크리트의 압축변형률  
 $\epsilon_{cc}$  : 콘크리트의 최대압축변형률  
 $r$  : 곡선적합계수 ( $= \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}$ )

강관과 베이스부(이중 베이스플레이트, 리브)에 사용된 강재는 선행 연구(Kim, 2013)<sup>[6]</sup>의 실험체에서 사용된 SM490이며, 앵커볼트는 F8T가 사용되었다. 강재와 앵커볼트의 재료특성은 재료인장시험에서 항복강도와 인장강도를 bi-linear 모델로 적용하였으며, 그 값은 Table 3에 나타내었다.



**Fig. 3.** Stress-strain curves of concrete

**Table 2.** Mechanical properties of concrete

Classification	Elastic Modulus ( $E_c$ , MPa)	Compressive Strength ( $f_{cc}$ , MPa)
Filled concrete	24557	27
Foundation concrete	29915	40

**Table 3.** Mechanical Properties of Steel

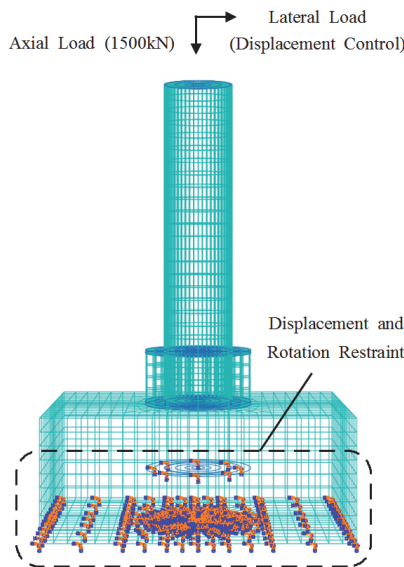
Classification	Elastic Modulus ( $E_s, N/mm^2$ )	Yield Strength ( $f_y, MPa$ )	Tensile Strength ( $f_u, MPa$ )	Elongation (%)
Steel	205000	267	447	17.5
Anchor Bolt	205000	505	833	7.9

**2.3 접합요소**

Baltay and Gjelsvik(1990)<sup>[8]</sup>에 따르면 강재와 콘크리트 사이의 마찰계수는 그 크기가 0.3에서 0.6사이이며, 평균값으로 0.47을 제안하였다. 따라서 강관과 콘크리트, 하부 베이스플레이트와 기초 콘크리트의 상부의 접합면에 대한 마찰계수는 0.47을 적용하였다. 또한, 강관과 이중 베이스플레이트, 리브간의 접합면은 실험체 제작에서 용접을 통한 연결이며, 본 해석에서는 완전부착을 구현하는 tie 요소를 사용하여 모델링하였다. 마지막으로 기초 콘크리트에 매입되어 있는 앵커볼트의 부착은 embedded region 기능을 적용하여 구현하였다.

**2.4 하중 및 경계조건**

실험과 동일한 하중을 재하하기 위하여 Fig. 4와 같이 재하프레임의 중심점에 축하중과 횡하중을 재하하였다. 이때, 축하중은 기둥의 설계압축강도의 20%인 1500kN을 재하하였고, 횡하중은 변위제어를 통해 200mm를 재하하였다. 또



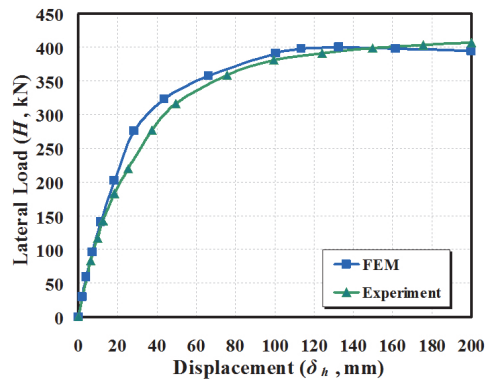
**Fig. 4.** Load and boundary conditions

한 경계조건은 기초 콘크리트의 바닥면을 완전 고정으로 가정하여 변위 및 회전에 대해 모두 구속하였다.

앵커볼트의 경우 앵커볼트가 위치를 잡기 위해 설치하는 세팅플레이트와 너트 체결에 의하여 기초 콘크리트 내부에서 완전히 고정이 되므로 앵커볼트의 최하단부를 변위와 회전에 대해 구속함으로써 실제와 동일한 거동을 하도록 하였다.

**2.5 타당성 검토**

다양한 설계변수에 대한 거동특성을 분석하기 위해서는 해석방법의 타당성 검증이 필요하다. 따라서 선행 연구의 실험결과와 본 연구의 해석결과를 비교·분석하였다. 이는 Fig. 5와 같다. 선행 연구의 실험체는 고장력 볼트를 사용하여 연결단면의 변형능력이 향상되어 상대적으로 변형능력이 취약한 기둥부 하단의 좌굴에 의해서 파괴가 발생하였으며, 이때의 항복강도는 209.7kN이다. 해석결과의 항복강도는 227.6kN으로 실험결과와 7.9%의 오차가 발생하였으며, 이는 실험에서 편칭현상의 발생으로 인한 오차로 판단된다. 이러한 편칭현상은 앵커볼트와 콘크리트의 부착 및 미끄러짐에 의한 변형량의 증가에 의한 것으로 예상된다. 또한 실험과 해석의 최대하중은 각각 406.74kN과 399.7kN으로 약 1.7%의 오차가 발생하였다. 따라서 본 연구의 해석방법이 실제 강재 기둥-기초 연결부의 거동과 유사하다고 판단된다.



**Fig. 5.** Comparison of analytical and experimental results

**3. 강재 기둥-기초 연결부의 거동특성**

**3.1 설계변수의 선정**

설계변수에 따른 강재 기둥-기초 연결부의 구조적 거동

특성의 영향 검토하기 위해 현행 설계기준에 기초하여 다양한 설계변수를 선정하였다. 선정된 설계변수는 앵커볼트의 묻힘깊이, 앵커볼트의 강종, 이중 베이스플레이트의 간격, 리브의 두께이다.

앵커볼트의 묻힘깊이는 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집(한국콘크리트학회[KCI], 2010)<sup>[9]</sup>에서 최대 묻힘깊이에 대해서만 635mm로 제한하고 있으며, 최소 묻힘깊이에 대한 기준은 제시되어 있지 않다. 또한, 도로교설계기준(2010)<sup>[10]</sup>에서는 직접 인장을 받는 고장력 앵커볼트 설계에 관해서 설계기준을 제시하지 못하고 있다. Table 4는 앵커볼트의 묻힘깊이( $h_a$ )와 강종에 대한 설계변수를 나타내며, 이때, 묻힘깊이( $h_a$ )는 기둥의 직경  $D(518\text{mm})$ 를 기준으로  $0.25D$ 부터  $1.0D$ 까지 변화하여 해석을 수행하였다. 또한, 앵커볼트의 강종을 일반앵커(3.6, 4.6, 5.6)와 고장력 앵커(F8T, F10T, F13T)로 변화시키며 강종에 따른 거동특성의 영향을 분석하였다.

리브 높이의 경우 강도로교 상세부설제지침(2006)<sup>[11]</sup>에서 기둥 장변 길이의 1/4 이상으로 제시되어 있고, 상세한 내용은 기술되어있지 않다. 따라서 리브의 높이( $h_r$ )에 따른 기둥-기초 연결부의 거동특성을 파악하기 위해 Table 5와 같이

기둥의 직경  $D(518\text{mm})$ 를 기준으로  $0.25D$ 부터  $1.25D$ 까지 변화하여 해석을 수행하였다. 마지막으로 리브의 두께( $t_r$ )를 이중 베이스플레이트의 두께( $t_b$ )를 기준으로  $0.2t_b \sim 1.2t_b$ 에 대해서 해석모형을 작성하였으며, 이에 대한 거동특성을 분석하였다.

### 3.2 앵커볼트의 묻힘깊이에 따른 영향

앵커볼트의 묻힘깊이( $h_a$ ) 따른 기둥-기초 연결부의 거동 특성을 분석하기 위하여 기둥의 직경  $D(518\text{mm})$ 를 기준으로 묻힘깊이( $h_a$ )를  $0.25D \sim 1.0D$ 로 변화시키며 유한요소 해석을 수행하였다. 이때, 선행 연구의 실험체는 기둥의 좌굴에 의한 항복이 발생하였기 때문에 앵커볼트의 영향을 확인하기에는 어려움이 있다. 따라서 2장에서 검증된 해석방법을 이용하여 기둥의 길이를  $1,700\text{mm}$ 로 하여 앵커볼트의 파괴를 유도하는 해석모형 작성하여 해석을 수행하였다.

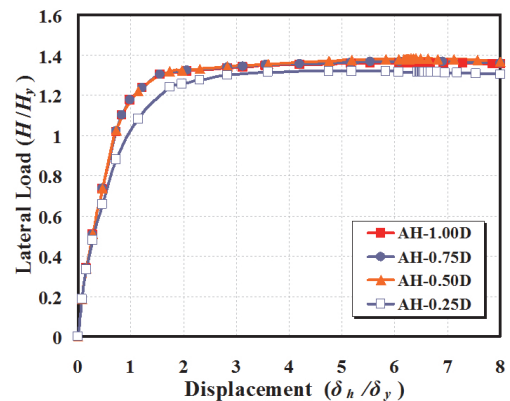
Fig. 6은 설계변수에 따른 유한요소해석 결과를 항복하중비( $H/H_y$ )와 항복변위비( $\delta/\delta_y$ ) 관계를 통해 나타낸 것이다.. 여기서 기둥부의 항복하중  $H_y$ 는 현행 설계기준인 LRFD에

**Table 4.** Variables on anchor

Model	Embedded Depth ( $h_a$ , mm)	Model	Anchor's Grade
AH-0.25D	129.5	AG-3.6	3.6
AH-0.50D	259	AG-4.6	4.6
		AG-5.6	5.6
AH-0.75D	388.5	AG-F8T	F8T
AH-1.00D	518	AG-F10T	F10T
		AG-F13T	F13T

**Table 5.** Variables on rib

Model	Rib's Height ( $h_r$ , mm)	Steel Cass	Rib's Thickness ( $t_r$ , mm)
RH-0.25D	125	RT-0.2tb	5
RH-0.50D	250	RT-0.4tb	10
		RT-0.6tb	15
RH-0.75D	375	RT-0.8tb	20
RH-1.00D	500	RT-1.0tb	25
RH-1.25D	625	RT-1.2tb	30



**Fig. 6.** Load-displacement relationship of embedded depth

**Table 6.** Yield and ultimate load according to embedded depth of anchor

Model	LRFD	FEM	
	Yield Load ( $H_y$ , kN)	Yield Load ( $H_y^*$ , kN)	Ultimate Load ( $H_y^*$ , kN)
AH-0.25D	377.62	292.01	498.01
AH-0.50D		375.59	521.42
AH-0.75D		375.59	516.30
AH-1.00D		375.59	513.50

서 제안하고 있는 CFT 교각의 강도설계법에 따라 산정하였고, 항복변위  $\delta_y$ 는 기둥부의 최대 탄성변위인 25mm를 기준으로 하였다. Fig. 6에서와 같이 앵커볼트의 문힘깊이가 0.25D인 경우에는 항복하중비( $H/H_y$ )가 0.77에서 항복이 발생하였다. 그러나 문힘깊이가 0.5D 이상인 경우에는 항복하중비( $H/H_y$ )가 0.99에서 항복하였으며, 극한강도 또한 거의 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 앵커볼트의 최소 문힘깊이는 현행 설계기준에서 제시되어 있지 않지만 본 해석결과를 통하여 0.5D 이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

### 3.3 앵커볼트의 강종에 따른 영향

Fig. 7은 앵커볼트 강종에 따른 항복하중비( $H/H_y$ )와 항복변위비( $\delta/\delta_y$ ) 관계를 나타낸 것으로, 3.2결과 같이 앵커볼트의 파괴를 유도하기 위하여 기둥의 길이를 1,700mm로 해석모델을 작성하였으며, 앵커볼트의 최소 문힘깊이는 0.5D를 적용하였다.

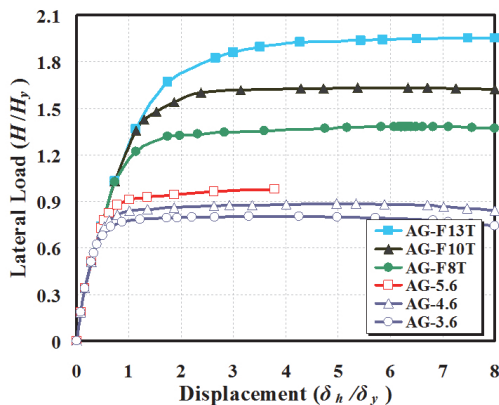


Fig. 7. Load-displacement relationship of anchor grade

Table 7. Yield and ultimate load according to grade of anchor

Model	LRFD	FEM	
	Yield Load ( $H_y, kN$ )	Yield Load ( $H_y^*, kN$ )	Ultimate Load ( $H_y^*, kN$ )
AG-3.6	377.62	233.73	302.83
AG-4.6		247.08	333.82
AG-5.6		269.92	369.92
AG-F8T		376.82	521.42
AG-F10T		419.49	615.91
AG-F13T		457.22	736.71

Fig. 7에 나타난 바와 같이 일반앵커의 경우 항복하중비( $H/H_y$ )가 0.62와 0.71사이에서 항복이 발생하였으며, 고장력 앵커의 경우 항복하중비( $H/H_y$ )가 1.0~1.21에서 항복이 발생하였다. 또한 일반앵커의 극한강도는 0.8~0.98 사이의 값을 나타내고 있으며, 고장력 앵커의 경우 1.38에서 1.95의 값을 나타내었다. 해석결과를 통하여 일반앵커보다 고장력 앵커가 강재 기둥-기초 연결부의 거동에 유리하다고 판단되며, 설계조건과 경제성을 고려하여 고장력 앵커를 사용하는 것이 합리적이라고 판단된다.

### 3.4 리브의 높이에 따른 영향

리브의 높이에 따른 항복하중비( $H/H_y$ )와 항복변위비( $\delta_h/\delta_y$ )를 Fig. 8에 나타내었다. 이때, 앵커볼트의 문힘깊이는 최소 문힘깊이인 0.5D를 적용하였으며, 앵커볼트의 강종은 고장력 볼트 F8T를 사용하였다.

리브의 높이가 0.25D일 때는 항복하중비( $H/H_y$ )가 0.81에서 항복이 발생하지만 리브의 높이가 0.5D 이상일 때는 항복

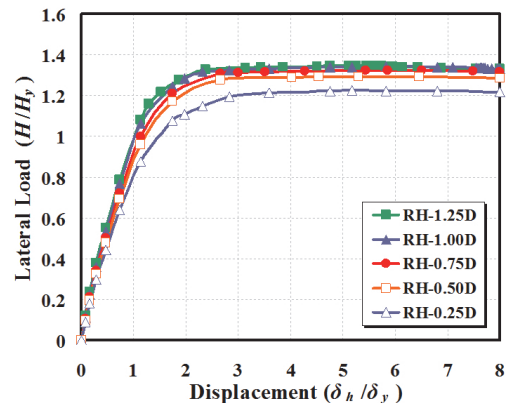


Fig. 8. Load-displacement relationship of rib's height

Table 8. Yield and ultimate load according to height of rib

Model	LRFD	FEM	
	Yield Load ( $H_y, kN$ )	Yield Load ( $H_y^*, kN$ )	Ultimate Load ( $H_y^*, kN$ )
RH-0.25D	278.67	224.35	343.62
RH-0.50D		245.08	362.89
RH-0.75D		248.97	371.63
RH-1.00D		258.40	376.65
RH-1.25D		252.75	378.20

하중비( $H/H_y$ )가 0.88~0.91사이에서 항복이 발생하였다. 이를 통하여 리브의 높이가 커질수록 기둥의 강도는 증가하지만 리브의 높이가 0.5D 이상인 경우에는 그 차이가 매우 작은 것을 확인할 수 있다.

강도로써 상세부설계지침(2006)<sup>[11]</sup>에서는 리브의 최소 높이를 0.25D로 제안하고 있지만 안전측 설계를 위해서는 최소 0.5D이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

### 3.5 리브의 두께에 따른 영향

리브의 두께( $t_r$ )는 이중 베이스플레이트의 두께( $t_b$ )를 기준으로 0.2 $t_b$ ~1.2 $t_b$ 에 대해서 해석을 수행하였으며, 위의 해석 결과를 토대로 앵커볼트의 묻힘깊이와 강종은 0.5D와 F8T, 이중 베이스플레이트의 간격은 0.5D를 적용하였다.

Fig. 9에서와 같이 리브의 두께가 커질수록 기둥의 극한 강도 또한 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 0.4 $t_b$  이상의 두께에서는 탄성구간에서 거의 유사한 거동을 보이고 있으며, 항복하중비( $H/H_y$ ) 0.8과 0.91 사이에서 항복함으로써 그 차

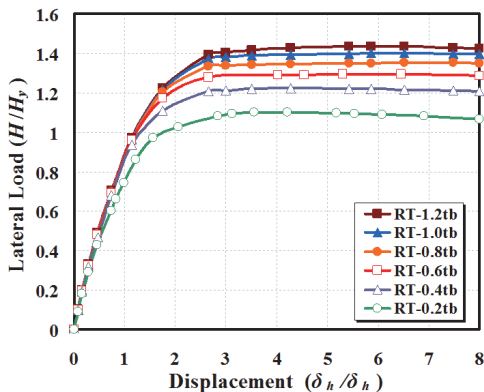


Fig. 9. Load-displacement relationship of rib's thickness

Table 9. Yield and ultimate load according to thickness of rib

Model	LRFD	FEM	
	Yield Load ( $H_y$ , kN)	Yield Load ( $H_y^*$ , kN)	Ultimate Load ( $H_u^*$ , kN)
RT-0.2tb	278.67	192.75	309.47
RT-0.4tb		223.28	343.11
RT-0.6tb		239.81	362.89
RT-0.8tb		243.64	379.52
RT-1.0tb		251.53	393.25
RT-1.2tb		254.26	402.92

이가 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 따라서 리브의 최소 두께는 0.4 $t_b$  이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 고장력 볼트를 적용한 강재 기둥-기초 연결부의 합리적인 설계범위를 제안하기 위하여 유한요소해석을 통하여 설계변수에 대한 영향을 검토하였다.

본 연구에 대한 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) solid 요소와 beam 요소를 사용하여 선행연구의 실험체를 모델화하고, 실험결과와 해석결과를 비교를 통하여 해석방법의 타당성을 검증하였다.
- (2) 앵커볼트의 묻힘깊이에 대한 영향을 검토하기 위하여 기둥부의 직경(D)를 기준으로 설계변수에 대한 해석을 수행하였다. 그 결과 앵커볼트의 최소 묻힘깊이는 0.5D 이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.
- (3) 앵커볼트의 강종에 따른 기둥-기초 연결부의 거동에 큰 차이를 보이는 것을 확인하였다. 따라서 기둥-기초 연결부의 가장 중요한 설계변수는 앵커볼트의 강종이며, 해석결과를 통하여 일반앵커보다는 고장력 앵커로 설계하는 것이 유리한 것을 확인하였다.
- (4) 리브의 높이가 커질수록 기둥-기초 연결부의 강도는 다소 증가하나 리브의 높이가 0.5D 이상인 경우에는 그 차이가 미비한 것을 확인하였다. 강도로써 상세부설계지침(2006)에서는 리브의 최소 높이를 0.25D로 제안하고 있지만 안전측 설계를 위해 최소 0.5D 이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.
- (5) 리브의 두께가 커질수록 기둥-기초 연결부의 거동에 다소 차이를 나타내지만 이중 베이스플레이트의 두께( $t_b$ )를 기준으로 0.4 $t_b$  이상에서는 탄성구간에서 거의 유사한 거동을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 리브의 두께는 0.4 $t_b$  이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 인하대학교의 연구비 지원사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

## 참고문헌(References)

- [1] 유상준(2004) 부착슬립 효과를 고려한 강재기둥 베이스 플레이트 접합부의 비선형 해석, 석사학위논문, 한국과학기술원.  
Yoo, S.-J. (2004) *Nonlinear Analysis of Steel Column Base Plate Connections Considering Bond-Slip Effect*, Master's Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea (in Korean).
- [2] 이승준, 이재한(2005) 중심 축하중을 받는 H형강 기둥 베이스플레이트의 설계에 대한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제17권, 제6호, pp.717-726.  
Lee, S.J., and Lee, J.H. (2005) A Study on the Design of H-Section Steel Column Baseplate Under Concentric Loadings, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.17, No.6, pp.717-726 (in Korean).
- [3] Dajin, L. (2006) Design of Circular Base Plates, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, American Society of Civil Engineers, Vol.11, No.1, pp.13-19.
- [4] 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 and Composite Structures*, Techno-Press, Vol.5, No. 5, pp.375-394.
- [5] 이하림, 김희주, 황원섭(2011) CFT 교각 기초부의 거동특성, 한국전산구조공학회논문집, 한국전산구조공학회, 제24권, 제5호, pp.491-498.  
Lee, H.-L., Kim, H.-J., and Hwang, W.-S. (2011) Behavior of the Foundation of Concrete Filled Steel Tubular Pier, *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, COSEIK, Vol.24, No.5, pp.491-498 (in Korean).
- [6] 김희주(2013) 원형단면 CFT 기둥 기초 연결부의 구조상세 개선에 관한 연구, 박사학위논문, 인하대학교.  
Kim, H.-J. (2013) *A Study for Structural Detail Improvement of CFT Column-Foundation Connections*, Ph.D. Dissertation, Inha University, Korea (in Korean).
- [7] Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. (1988) Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.114, No.8, pp.1804-1826.
- [8] Baltay, P., and Gjelsvik, A. (1990) Coefficient of Friction for Steel on Concrete at High Normal Stress, *Journal of Materials in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.2, No.1, pp.46-49.
- [9] 한국콘크리트학회(2010) 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집, 기문당.  
Korea Concrete Institute (2010) *Design and Examples for Concrete Embedded Anchor*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [10] 국토해양부(2010) 도로교설계기준.  
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) *Highway Bridge Design Standard*, Korea (in Korean).
- [11] 한국강구조학회(2006) 건설교통부 제정 강도로교 상세부 설계지침, 구미서관.  
KSSC (2006) *Guideline for Steel Bridge Design Details (Specified by Ministry of Construction and Transportation)*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).

**요 약 :** 고장력 볼트를 적용한 원형단면 콘크리트 충전 강재 기둥-기초 연결부의 합리적인 설계범위를 제안하기 위하여 축하중과 수평하중을 동시에 받는 기둥-기초 연결부의 전반적인 구조적 거동과 설계변수에 따른 거동특성을 상용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 해석적으로 검토하였다. 이를 위해 앵커볼트를 고장력 볼트로 대신하는 선행연구의 실험을 토대로 수치해석을 실시하였으며, 해석방법의 타당성을 검증하였다. 또한 현행 설계기준을 분석하여 기둥-기초 연결부 거동에 영향을 미치는 설계변수(앵커의 묻힘깊이, 앵커의 강종, 리브의 높이, 리브의 두께)를 선정하였으며, 설계변수에 따른 기둥-기초 연결부의 거동특성을 비교·분석하였다. 일반 앵커에 비해 고장력 볼트를 적용하는 것이 기둥-기초 연결부의 거동에 유리한 것으로 나타났으며, 고장력 볼트의 최소 묻힘깊이는 기둥 직경( $D$ )을 기준으로  $0.5D$ 이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다. 리브의 높이는  $0.5D$ 이상, 리브의 두께는 베이스플레이트 두께( $t_b$ )를 기준으로  $0.4t_b$  이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

**핵심용어 :** 강재 기둥-기초 연결부, 고장력 볼트, 리브, 수치해석