

## 수치해석을 통한 이중 베이스플레이트 연결부의 리브 구조 상세에 대한 연구

### Study on Rib's Structural Details of Double Baseplate Connection Through Numerical Analysis

황원섭<sup>1)\*</sup> 김희주<sup>2)</sup> 함준수<sup>3)</sup> 황승현<sup>4)</sup>  
Hwang, Won Sup Kim, Hee Ju Ham, Jun Su Hwang, Seung Hyun

#### Abstract

In this study, steel-pier's structural behavior by design variables of ribs were analyzed in order to improve structural details of ribs supporting double base plates. A numerical analysis was conducted using commercial FE analysis program. Anchor bolts and reinforced bars were made of BEAM element, and coefficient of friction was applied to contact surfaces. After that, the analytical result was compared with experiment of previous study to verify analysis methods. Steel-pier's load-displacement relation was analyzed according to various rib's design variables (rib's central angle, height, thickness) by using proven analysis methods, and proper rib's design ranges were proposed.

Keywords : Steel-pier, Rib, Double base plates, Numerical analysis

#### 1. 서론

교량이 대형화, 장대화되는 추세에 따라 교량의 하부구조가 부담하는 하중이 증가하게 되고, 구조물의 안전한 지지를 위해서는 교각의 면적이 늘어나게 된다. 하지만 기존의 RC 구조물에서는 단면의 크기에 한계가 있기 때문에, 콘크리트와 강재 두 가지 재료의 장점을 활용한 콘크리트 충전 강관 기둥이 건설 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 이러한 형식의 구조물은 큰 압축력과 풍하중 및 지진하중에 의해 발생하는 횡하중의 하중 조합에 대한 충분한 강도를 가지도록 설계되어야 한다.

강재 교각-기초 콘크리트 접합부의 대표적인 형태 중 하나인 이중 베이스플레이트 접합부에서 리브는 기둥 본체로부터의 힘을 앵커 볼트 및 베이스플레이트 하면의 콘크리트에 인장력 및 압축력으로서 전달하는 보강재의 역할을 한다.

기존의 강재교각 기초부의 연결에 대한 연구는 베이스플레이트 설계식을 분석하거나 실험과 수치해석을 비교·분석

하여 진행하고 있다. 국내의 경우 실험적으로 모멘트와 축력을 고려한 강재기둥 베이스플레이트 연결부를 허용응력설계법과 하중저항계수설계법에 의해 각각 설계하여 연결부의 모멘트-회전 응답과 최종 파괴형태, 거동의 특성을 파악하였다 (Byun et al., 2002). 또한 기존의 베이스플레이트 설계기준을 분석하고 실험적 연구를 통하여 베이스플레이트의 구조적 거동에 관한 성능을 평가하며 유한요소해석을 수행하여 실험과 해석결과를 비교·분석한 연구 (Park, 2004)와 I형강의 약축에 대한 기둥-기초부의 접합부 설계를 위해 실험과 해석적 방법을 통하여 Drake and Elkin (1999)가 제안한 Drake & Elkin's method를 평가하고 구조물의 거동에 영향을 미치는 베이스플레이트의 두께, 앵커볼트의 강성, 그라우트의 압축강도에 대한 영향을 분석한 연구 (Lee et al., 2008)와 같은 실험과 해석을 병행한 연구도 진행되었다.

국외의 경우 베이스플레이트에 대해서 기존 설계기준에 제시되어있는 각형베이스플레이트가 아닌 다양한 하중형태를 받는 원형 베이스플레이트의 설계법을 분석하여 제시하

1) 인하대학교 토목공학과 교수, 교신저자  
2) 인하대학교 토목공학과 박사과정  
3) 인하대학교 토목공학과 박사과정  
4) 학생회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정

\* Corresponding author : hws@inha.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2013년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

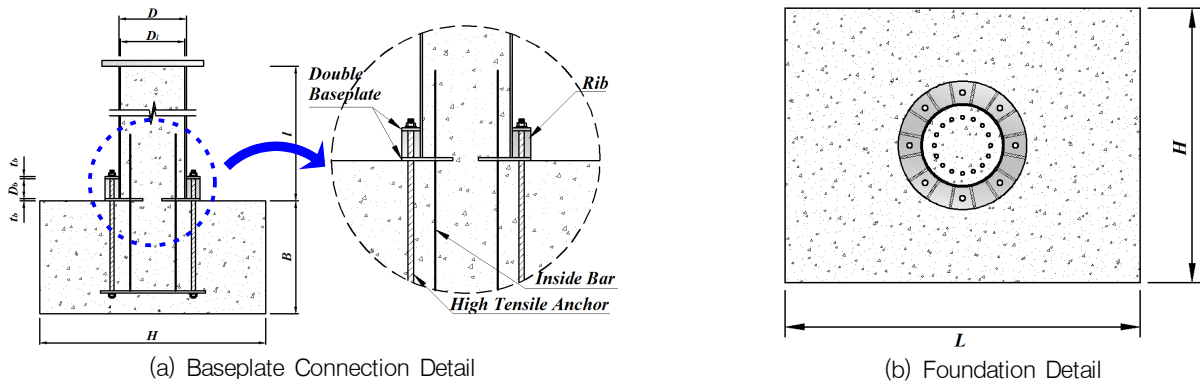


Fig. 1 Pier-foundation section

였고 (Dajin Liu, 2006), 강제 베이스플레이트의 들림과 상대 슬립을 제안하기 위해서 I형 기둥의 거동을 유한요소해석을 통하여 해석적으로 분석하는 연구도 진행되었다 (Hamizi et al., 2011).

그러나 현재까지의 연구는 대부분 I형강 기둥이나 단일 베이스플레이트에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 또한 베이스부의 설계에 대한 명확한 설계기준 또한 제시되어 있지 않아 리브를 포함한 강제교각의 베이스부를 합리적이고 경제적으로 설계하여 안전성을 확보하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 이중 베이스플레이트를 갖는 강제 교각-기초부의 합리적인 리브 설계를 위하여 수치해석을 통하여 리브 구조 상세에 따른 구조물의 거동특성을 비교·분석하였다. 이를 위해 선행 연구에서 진행되었던 실험체를 선정 한 후, 실험 및 수치해석 결과를 비교하여 해석방법의 타당성을 검증하였다.

검증된 해석방법을 이용하여 리브의 설계변수 (리브의 개수, 높이, 두께)에 따른 구조물의 거동특성을 비교·분석하여 합리적인 리브 구조 상세를 제안하고자 한다.

## 2. 강제 교각-기초부의 모델화 및 해석방법

### 2.1 교각-기초부의 구조상세

본 연구에서 수치해석 모델로 선정한 실험체는 Kim et al. (2012)가 진행했던 강제 교각-기초부의 실험체이며, 이는 기존에 기초콘크리트에 시공되어지고 있는 앵커프레임을 제거하고 고강도 앵커를 사용하여 구조물을 단순화시킨 것으로서 강제교각과 기초의 연결을 8개의 고강도 앵커와 이중 베이스플레이트를 사용하였다. 또한, 교각부와 기초부의 연결 성능을 향상시키기 위하여 기둥 내부에 16개의 철근을 설치

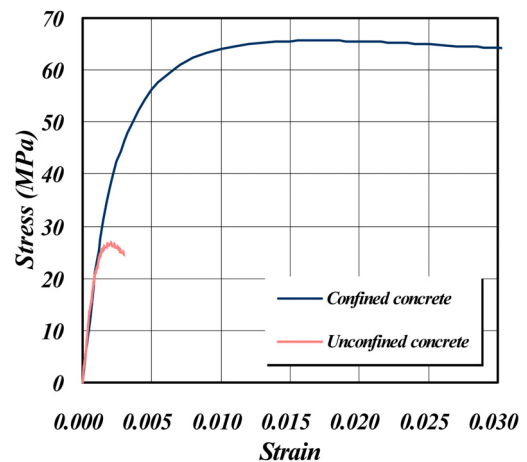


Fig. 2 Stress-Strain Curve for Concrete

하였다.

Fig. 1은 해석 모델의 단면형상을 나타낸 것으로 기둥의 총 길이( $l$ )는  $2500\text{mm}$ , 강관의 외부직경( $D$ )과 내부직경( $D_i$ )은 각각  $518\text{mm}$ ,  $500\text{mm}$ 이고 강관의 내부에는 콘크리트가 채워진 CFT (Concrete Filled Tube) 기둥이다. 기둥의 하부에는  $25\text{mm}$  두께의 베이스플레이트를  $375\text{mm}$ 의 간격으로 설치하였고,  $15\text{mm}$  두께의 리브로 상하의 베이스플레이트를 연결하였다. 기초 콘크리트의 크기는  $2210 \times 1710 \times 900\text{mm}$  ( $L \times H \times B$ )이다.

### 2.2 재료특성

강관 내부에 충전된 콘크리트는 강관에 의해 콘크리트가 구속되기 때문에 구속 콘크리트에 대한 재료특성을 적용하였으며, 이와 달리 기초 콘크리트는 강관과 같이 콘크리트를 구속하는 요인이 없기 때문에 비구속 콘크리트에 대한 재료특성을 사용하였다. Fig. 2는 구속 콘크리트와 비구속 콘크

리트에 대한 재료특성을 나타낸 그림이며, 압축시험에 의해 산출된 각 콘크리트의 평균압축강도는 Table 1과 같다.

실험에서 강관 및 리브에는 SM490이 사용되었으며, Fig. 3과 같이 재료인장실험을 통하여 얻은 값을 해석에 적용하였다. 또한 앵커볼트와 철근의 강종 및 지름은 각각 F8T와 30mm, SD400과 22mm가 사용되었으며, 앵커볼트와 철근의 재료특성은 재료인장실험을 통하여 얻은 값을 적용하였다. Table 2는 해석모델에 적용한 각각의 재료특성을 나타낸다.

Table 1 Material properties

Material	Steel grade	Modulus of elasticity $E$ (MPa)	Yield strength $f_y$ (MPa)	Compressive strength $f_c$ (MPa)
steel	SM490	205000	323	-
anchor bolt	F8T		695	-
reinforced bar	SD400		433	-
confined concrete	-	25978	-	28
foundation concrete	-	27996	-	40

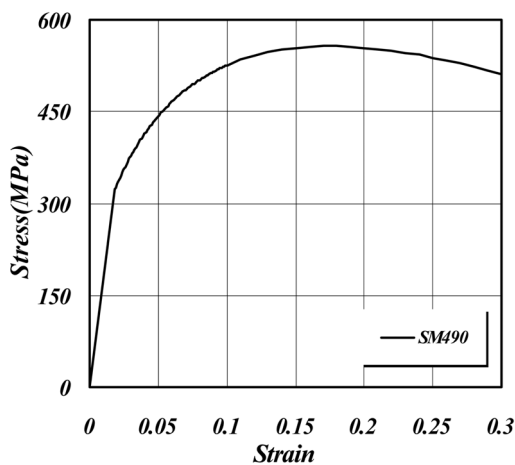


Fig. 3 Stress-Strain Curve for Steel

Table 2 Loading, boundary and contact conditions

loading condition	axial load	load control (1500kN)
	lateral load	displacement control (140mm)
boundary condition	foundation concrete	fixed
	anchor bolt and reinforced	
contact surface	steel pipe-confined concrete	coefficient of friction (0.4)
	baseplate-foundation concrete	
	welding treatment	tie

### 2.3 강재 교각 기초부의 모델화 및 해석방법

이중 베이스플레이트 접합부에서 휨모멘트와 전단력을 동시에 받는 리브 구조에 따른 거동 및 변수의 영향을 파악하기 위하여 상용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.10을 사용하였다.

Fig. 4와 같이 강재와 콘크리트의 모델링은 Solid 요소를 사용하였다. 그러나 앵커볼트와 내부철근을 Solid 요소로 모델링을 하게 되면 그 과정이 복잡해지고 요소들 간의 절점 공유가 어렵기 때문에 해석 결과의 정확성이 떨어질 수가 있으며, 해석 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해서 Beam 요소를 사용하여 앵커볼트와 내부철근을 형상화하여 기초 콘크리트와 베이스플레이트를 연결하였다. 여기서 Beam 요소란 연결하고자 하는 두 절점을 지정하여 선으로 연결한 뒤 단면의 형상과 직경을 입력하여 실제의 앵커볼트와 내부 철근을 동일하게 모델화할 수 있는 요소이다. 또한, Beam 요소로 구현한 앵커볼트와 내부철근에 Embedded 기능을 적용하여 콘크리트와 부착시켰다.

각 요소의 접합면에 대한 영향을 고려하기 위하여 강관과 구속콘크리트, 베이스플레이트와 기초 콘크리트의 접합면에 각각 마찰계수를 적용하였다. 그리고 베이스플레이트와 리브, 강관의 용접 부분은 완전부착으로 가정하여 해석하였으며, 해석의 오차를 최소화하기 위하여 각 요소 간의 절점을 공유하였다.

해석 모델의 경계조건 및 하중조건은 Fig. 5에 나타내었다. 실제 실험과 동일하게 적용하기 위하여 경계조건은 기초와 앵커볼트, 철근의 하단부를 변위와 회전에 대해서 구속하였다. 또한, 기둥의 최대 축하중의 75%인 1500kN을 재하한

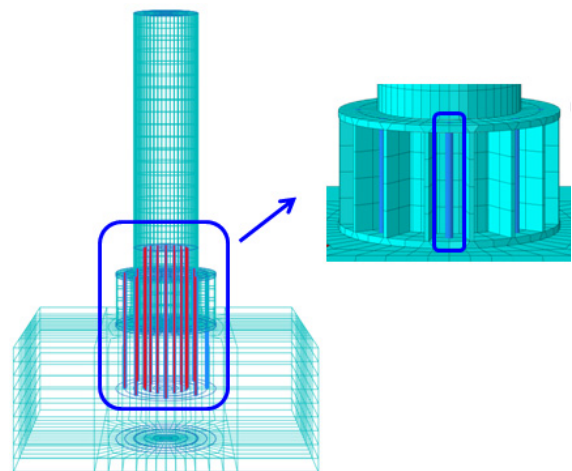


Fig. 4 Anchor bolt modeling

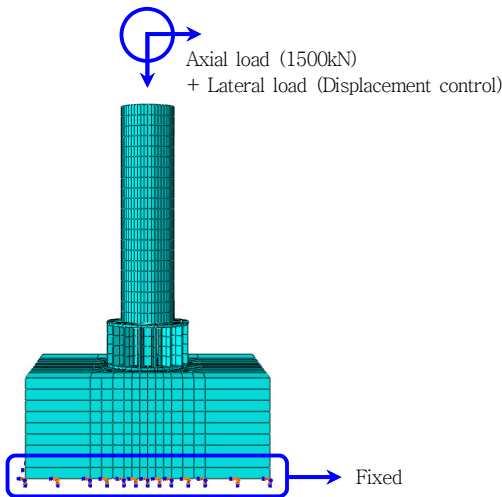


Fig. 5 Loading and boundary conditions

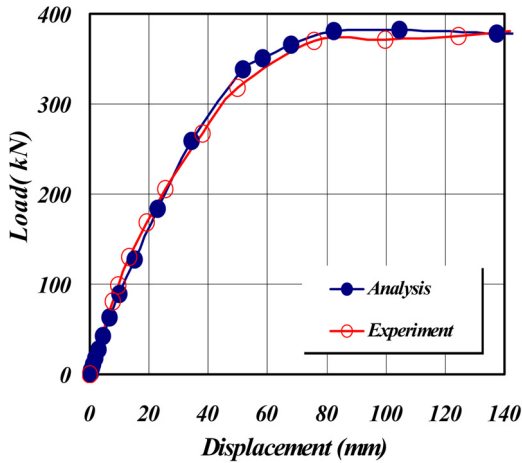


Fig. 6 Lateral load–displacement curve for experiment and analysis

후 변위제어로 횡하중을 재하하였다.

#### 2.4 해석결과의 타당성 검토

본 연구에서 사용한 해석방법의 타당성을 검증하기 위하여 선행 연구에서 실시한 실험결과와 해석결과를 Fig. 6과 같이 횡하중과 변위의 관계로 나타내었다. 두 결과 값을 비교해보면, 최대탄성변위인 약 25mm까지 탄성구간의 기울기가 거의 일치하며, 항복하는 지점의 변위도 일치하는 형상을 보였다. 또한 실험체와 해석의 항복하중은 각각 206.06kN, 197.05kN과 같으며, 오차는 약 4%로 작게 발생하였다. 그리고 소성구간에서 실험체의 최대 횡하중은 380.72kN으로 해석에서의 377.65kN과 약 1%의 오차가 발생하였으나 유

사한 거동을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 해석방법이 타당한 것으로 판단되며, 향후 해석적으로 강재 교각-기초 콘크리트 접합부의 다양한 설계변수에 따른 거동특성분석이 가능하다.

### 3. 리브의 설계변수에 따른 거동특성

#### 3.1 리브 중심각의 영향

리브 중심각에 따른 거동특성을 파악하기 위해 리브 중심각을 변화하여 해석을 수행하였다. 원형 베이스플레이트에 앵커볼트는 8개로 고정하고, 리브를 대칭으로 배열하기 위해 Fig. 7과 같이 리브의 중심각에 따라 11.25° (32개), 22.5° (16개), 45° (8개), 90° (4개)로 설정하였다. 여기서 해석방법의 타당성을 검증하기 위해 제시한 수치해석모델의 리브 개수는 22.5° (16개)이다.

Fig. 8은 리브 중심각의 변화에 따른 해석모델의 전체적인 거동특성을 비교한 횡하중-변위관계를 나타낸다. 초기탄성구간에서는 리브의 중심각에 상관없이 각 모델의 기울기가 모두

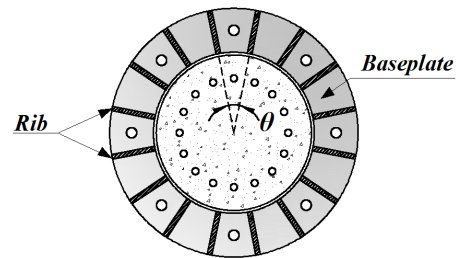


Fig. 7 Central Angle between Ribs

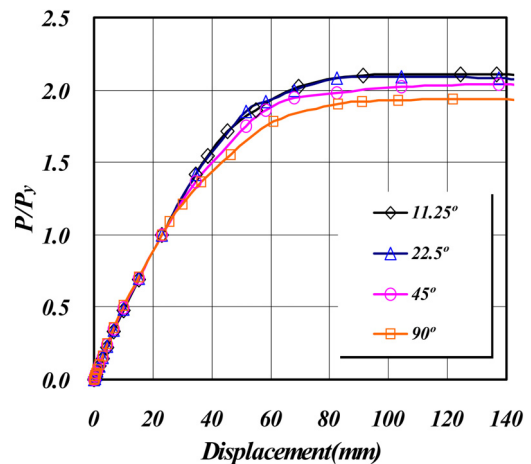


Fig. 8 Lateral load–displacement curve of analytical models with rib's central angle

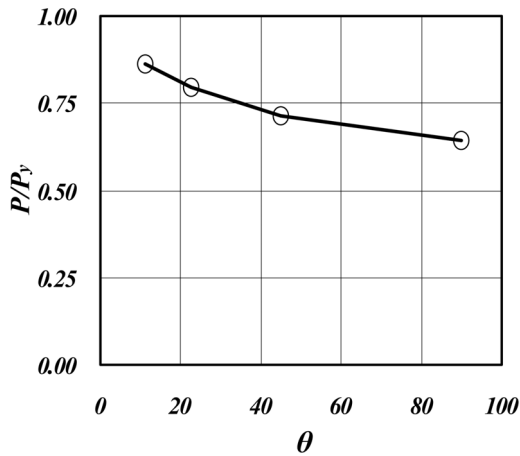


Fig. 9 Yield load ratio with rib's central angle

Table 3 Analytical models's yield load with rib's central angle

$\theta$	$P_y$ (kN)	remark
11.25°	198.12	
22.5°	182.95	experiment
45°	164.08	
90°	147.86	

동일하게 나타났다. 이후 소성구간에서는 탄성구간과는 달리 리브 중심각이 작아질수록 최대 횡하중의 크기는 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 리브의 중심각이 작아지면 리브의 개수가 증가하여 기둥에 작용하는 하중을 앵커 볼트와 기초 콘크리트에 전달하는 연결부의 강성이 증가하므로 최대 횡하중의 크기가 커진다고 판단된다. 그러나 리브의 중심각이 11.25°와 22.5°일 때의 최대 횡하중은 거의 동일하게 발생하였으며, 이를 통해 리브의 중심각이 22.5° 이하이면 탄성 및 소성구간에 서 구조물의 거동에 미치는 영향은 매우 작다고 판단된다.

Fig. 9는 리브 중심각에 따른 항복하중의 비 ( $P/P_y$ )를 나타낸 그래프이다. 여기서  $P$ 는 Table 3에 나타낸 리브의 개수에 따른 각 모델별 항복 횡하중이고,  $P_y$ 는 이론적으로 계산된 기둥의 항복 횡하중인 229.61kN을 사용하였다. 한국강구조학회 (2003)는 콘크리트충전 강관의 허용 횡하중은 강관의 항복하중의 75%로 규정하고 있으므로, 이를 통하여 이중 베이스플레이트를 갖는 연결부의 리브의 중심각을 22.5° 이하로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

### 3.2 리브 높이의 영향

리브 높이에 따른 구조물의 거동 특성을 파악하기 위하여

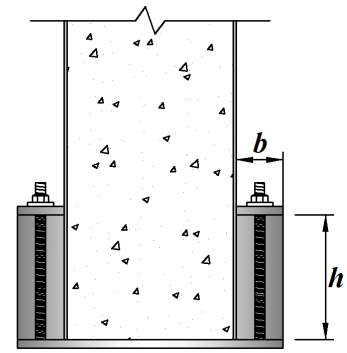


Fig. 10 Design variables section for h/b

Table 4 Height-breadth ratio of rib

$h/b$	$b$ (mm)	$h$ (mm)	remark
0.53	141	75	
1.06		150	
1.60		225	
2.13		300	
2.66		375	experiment
3.19		450	
3.72		525	
4.26		600	

리브의 가로길이 ( $b$ )와 리브의 높이 ( $h$ )의 비 ( $h/b$ )를 설정하여 해석을 수행하였다. 이때 가로길이 ( $b$ )는 3.1절에서의 기준모델과 동일한 141mm로 고정을 하고, 리브 높이 ( $h$ )를 75mm에서 600mm까지 75mm 간격으로 변화를 주어 해석을 수행하였다. 리브의 가로 및 높이의 형상과 리브의 가로길이와 리브의 비 ( $h/b$ )는 Fig. 10과 Table 4에 나타내었다.

리브 높이에 따른 해석모델의 거동 특성을 Fig. 11과 같이 횡하중과 변위의 관계로 나타내었다. 높이비 ( $h/b$ )가 1.06~2.66일 때는 초기탄성구간의 기울기 및 소성구간에서의 최대 횡하중이 거의 동일하게 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 높이비 ( $h/b$ )가 0.53의 경우는 탄성구간의 기울기 및 소성구간의 최대 횡하중이 가장 작게 발생하였으며, 이는 리브의 높이가 낮아지면 연결부의 거동이 리브가 없는 단일 베이스 플레이트와 같은 거동을 하므로 탄성구간의 기울기 및 소성구간의 최대 하중이 작게 발생하였다고 판단된다. 또한 높이비 ( $h/b$ )가 1.06 이상이 되면 초기탄성구간의 기울기는 높이비에 따라 거의 동일하게 발생하고, 소성구간에서의 최대 횡하중도 거의 동일하게 나타났다. 그러나 높이비 ( $h/b$ )가 3.19 이상이 되면 최대 횡하중의 크기가 점점 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 리브의 높이가 높아지면 기둥에 작용

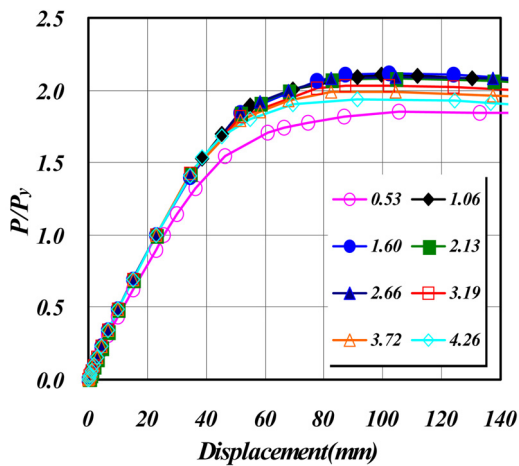


Fig. 11 Lateral load-displacement of analytical models ( $h/b$ )

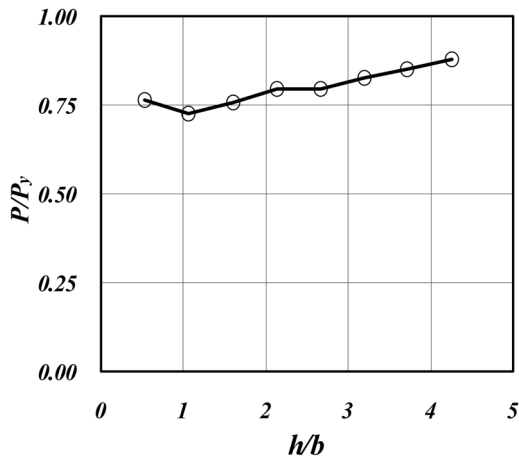


Fig. 12 Effect of rib's for  $h/b$

하는 하중을 전달하는 리브에서 좌굴이 발생하므로 최대 횡하중이 감소하는 것이라고 판단된다.

리브의 높이비 ( $h/b$ )에 따른 항복하중의 비 ( $P/P_y$ )를 Fig. 12와 같이 나타내었다. 여기서  $P$ 는 높이비 ( $h/b$ )에 따른 각 모델의 항복 횡하중으로 Table 5와 같으며,  $P_y$ 는 3.1절에서 제시한 기둥의 이론적인 항복 횡하중인 229.61kN을 사용하였다. 전체적으로 리브의 높이비 ( $h/b$ )가 커질수록 항복하중의 비도 점차적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 리브의 높이비 ( $h/b$ )가 2.13~2.66일 때는 항복하중의 비가 약 0.80으로 동일하며, 높이비 ( $h/b$ )가 2.66 이상이면 항복하중의 비는 일정하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 3.1절과 같이 허용 횡하중은 강관의 항복강도의 75%로 규정하고 있으므로, 이를 통해서 리브의 설계시 높이비 ( $h/b$ )를 2.13~2.66으로 하는 것이 합리적이라고 판단된다.

Table 5 Analytical models's yield load for  $h/b$

$h/b$	$P_y$ (kN)	remark
0.53	175.27	
1.06	166.51	
1.6	174.02	
2.13	182.32	
2.66	182.95	experiment
3.19	189.49	
3.72	195.02	
4.26	201.83	

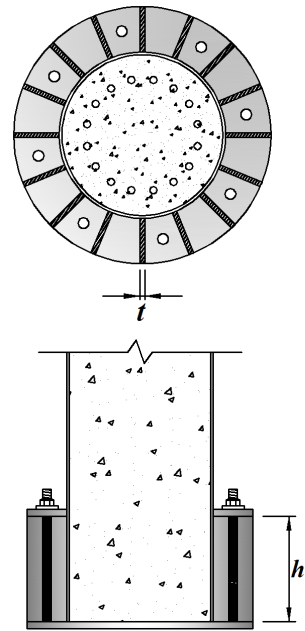


Fig. 13 Design variables section for  $h/t$

### 3.3 리브 두께의 영향

이중 베이스플레이트의 보강재 역할을 하는 리브의 두께에 따른 구조적 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 리브의 높이에 대한 두께의 비 ( $h/t$ )를 변화하며 해석을 수행하였다. 여기서 리브의 두께는 6mm부터 30mm까지 3mm 간격으로 변화를 주었으며, 리브의 높이는 3.1절에서 사용한 기준모델과 동일한 375mm로 고정하였다. 해석모델의 리브 형상과 두께비 ( $h/t$ )는 Fig. 13과 Table 6에 나타내었다.

Fig. 14는 리브의 두께비 ( $h/t$ )에 따른 해석모델의 전체적인 거동을 파악하기 위하여 횡하중에 따른 횡변위를 나타낸 그래프이다. 이를 보면 리브의 두께비 ( $h/t$ )가 62.50~41.67 (6mm~9mm)일 때는 초기탄성구간에서의 기울기와 소성

Table 6 Height–thickness ratio of rib

$h/t$	$h$ (mm)	$t$ (mm)	remark
62.50	375	6	
41.67		9	
31.25		12	
25.00		15	experiment
20.83		18	
17.86		21	
15.63		24	
13.89		27	
12.50		30	

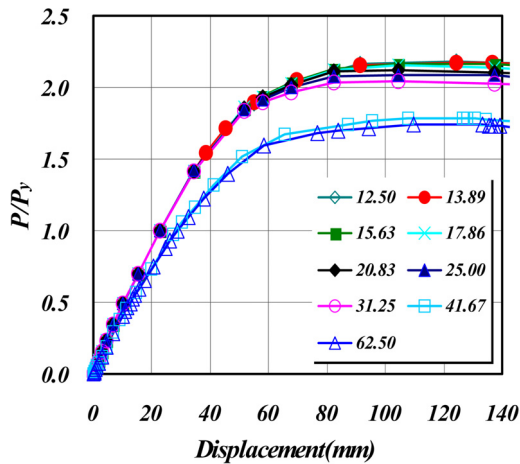


Fig. 14 Lateral load–displacement of analytical models ( $h/t$ )

구간에서의 최대 횡하중이 매우 작게 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 리브의 두께가 얇아지면 기둥에 작용하는 하중을 앵커 및 기초 콘크리트에 전달하기 위한 연결부의 강성이 작아지기 때문이라고 판단된다. 또한 리브의 두께비 ( $h/t$ )가 31.25 (12mm) 이하가 되면 초기탄성구간에서의 기울기는 두께비 ( $h/t$ )에 상관없이 모두 동일하게 발생하지만, 소성구간의 최대 횡하중은 점차적으로 증가하는 경향을 보인다. 이때 최대 횡하중은 두께비 ( $h/t$ )가 12.50일 때 약 415.13kN, 두께비 ( $h/t$ )가 31.25일 때 약 369.13kN이 발생하였으며, 그 차이는 약 11.08%로 큰 차이가 발생하지 않았다. 이를 통해 리브의 두께비 ( $h/t$ )는 31.25 (12mm) 이하로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

Fig. 15는 리브의 두께비 ( $h/t$ )에 따른 항복하중의 비 ( $P/P_y$ )를 나타낸 그래프이다. 이때 항복하중의 비에서  $P_y$ 는 기둥의 이론적 항복 횡하중인 229.61kN을 사용하였으며,  $P$ 는 Table 7과 같이 각 모델의 항복 횡하중을 나타낸다. 이를 보면  $h/t$ 가 62.50~41.67에서 항복하중의 비가 약 0.75

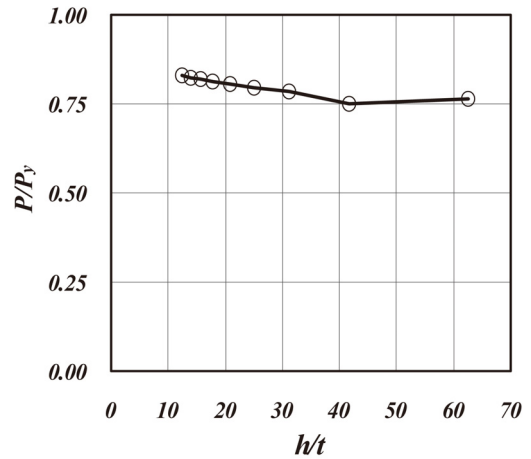


Fig. 15 Effect of rib's for  $h/t$

Table 7 Analytical models's yield load for  $h/t$

$h/t$	$P_y$ (kN)	remark
62.50	175.37	
41.67	172.31	
31.25	180.48	
25.00	182.95	experiment
20.83	184.92	
17.86	186.65	
15.63	188.08	
13.89	189.33	
12.50	190.39	

로 일정하며, 41.67 이하부터는 항복하중의 비가 점점 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

따라서 Fig. 14와 Fig. 15를 통하여 이중 베이스플레이트의 두께비 ( $h/t$ )를 31.25 이하로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 휨모멘트와 전단력을 동시에 받는 강제 교각-기초 연결부에서 보강재 역할을 하는 리브의 전체 거동 특성을 파악하기 위해서 수치해석적인 방법을 통해 리브의 설계변수 (리브의 개수, 리브의 높이, 리브의 두께)에 대한 영향을 비교·분석하였다. 본 연구에 대한 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 강제 교각-기초 연결부의 거동을 표현할 수 있는 해석 방법을 제안하였으며, 선행연구의 실험결과와 해석결

과를 비교·분석하여 해석방법의 타당성을 검증하였다. 따라서 검증된 해석방법을 이용하여 리브의 다양한 설계변수에 대한 검토가 가능하다고 판단된다.

- (2) 리브 개수에 따른 횡하중-횡변위 관계와 항복하중의 비를 통해서 리브의 개수가 강재 교각-기초 연결부의 거동에 주요 설계변수임을 알았으며, 리브의 개수는 16개 (22.5°) 이상으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.
- (3) 리브의 높이 ( $h$ )가 강재 교각-기초 연결부의 주요 설계변수임을 확인하였다. 횡하중-횡변위 관계에서 리브의 높이비 ( $h/b$ )는 1.06~2.66으로 하는 것이 합리적이라고 판단되나, 항복하중의 비에서 리브의 높이비 ( $h/b$ )를 2.13~2.66으로 설계하는 것이 유리하다고 판단되므로, 리브의 높이비 ( $h/b$ )는 2.13~2.66으로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.
- (4) 강재 교각-기초 연결부에서 리브의 두께 ( $t$ )가 주요 설계변수임을 확인하였다. 하중-변위 관계와 항복하중의 비를 통하여 두께비 ( $h/t$ )를 31.25 (12mm) 이하로 설계하는 것이 합리적이라고 판단된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. Byun, W. J., Lee, D. S., Lee, J. H., Lee, S. C., "An Experimental Study on the Behavior of Steel Column Base Plate Connections under Cyclic Loading", Korean Society of Civil Engineers Annual Conference, 2002, pp.177-180. (in Korean)
2. Dajin L., "Design of Circular Base Plates", Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2002, pp.13-19.
3. Hamizi, M., Ait-Aider, H., Alliche, A., "Finite Element Method for Evaluation Rising And Slip of Column-Base plate for Usual Connections", Strength of Materials, vol. 43, No. 6, 2011, pp.662-672.
4. Kim, E., Jang, S. Y., Cho, Y. C., "Design of anchor-bolt for the rail fastening system with baseplate", The Korean Society for Railway Annual Conference, 2006, pp.89-94. (in Korean)
5. Kim, H. J., Ham, J. S., Yang, S. D., Hwang, W. S., "An Experiment Study For Improvement of Joint Detail of Steel Pier-Foundation", Journal of Korean Society of Steel Construction, vol. 24, No. 5, 2012, pp.491-501. (in Korean)
6. Korean Society of Steel Construction, Design and Construction Guide of Concrete Filled Tube Structures, Goomibook, Seoul, 2003, pp.35-63. (in Korean)
7. Lee, D. Y., Subhash C. God., Exposed Column-Base Plate Connections Bending About Weak Axis, International Journal of Steel Structures, vol. 8, No. 1, 2008, pp.11-27.
8. Park, S. M., "An Experimental study on the structural behavior of steel column base plate", Master's Thesis, Ajou University, 2004, pp.1-91. (in Korean)
9. Richard, M. Drake., Sharon, J. Elkin., "Beam-Column Base Plate Design-LRFD Method, Engineering Journal, 1999, pp.29-38.
10. RIST, Design Manual of Steel Framed Pier, 1998, Chapter II, pp.106-123. (in Korean)
11. Riyadh, H., Wesley, T., "Experimental behavior of circular concrete columns under reversed cyclic loading", Construction and Building Materials 22, 2008, pp.684-693.
12. Yoo, S. J., "Nonlinear Analysis of Steel Column Base Plate Connections Considering Bond-Slip Effect", Master's Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2003, pp.1-65. (in Korean)
13. Zhu, M., Liu, J., Wang, Q., Feng, X., "Experimental research on square steel tubular columns filled with steel-reinforced self-consolidating high-strength concrete under axial load", Engineering Structures 32, 2010, pp.2278-2286.

Received : 12/07/2012

Revised : 01/11/2013

Accepted : 01/16/2013



---

## 요 지

현재 강제 교각-기초 연결부에 대한 국내의 설계기준이 명확히 제시되어 있지 않아 연결부의 합리적이고 경제적인 설계가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이중 베이스플레이트간의 보강재 역할을 하는 리브의 구조상세 개선을 목적으로 리브의 설계변수에 따른 거동특성을 수치해석적으로 검토하였다. 이를 위해 상용유한요소 해석프로그램을 사용하여 수치해석을 수행하였으며, 앵커볼트와 내부철근은 BEAM 요소와 Embedded 기능을 사용하여 구현하였다. 이러한 해석기법의 타당성을 검증하기 위하여 선행연구의 실험결과와 해석결과를 비교하였고, 검증된 해석기법을 이용하여 리브의 다양한 설계변수 (리브의 개수에 따른 간격, 리브의 높이, 리브의 두께)에 따른 강제 교각의 하중-변위 관계를 도출하여 각 설계변수가 전체 구조물에 미치는 영향을 비교·분석한 후 리브의 합리적인 설계 범위를 제안하였다.

**핵심 용어** : 강제 교각, 리브, 이중 베이스플레이트, 수치해석

---