

# 중심 축하중을 받는 H형강 기둥 베이스플레이트의 설계에 대한 연구

## A Study on the Design of H-Section Steel Column Baseplate under Concentric Loadings

이 승 준<sup>1)</sup> · 이 재 한<sup>2)</sup>

Lee, Seung Joon · Lee, Jae Han

요 약 : 본 연구에서는 중심 축하중을 받는 H형강 기둥의 베이스플레이트의 지압응력의 분포와 설계에 대하여 조사하였다. 일반적으로 강구조 기둥의 베이스플레이트는 지압응력이 등분포하다고 가정하고 그 크기와 두께를 결정한다. 그러나 중심 축하중이 적으면 베이스플레이트의 크기도 작아지고 두께도 얇아지며 지압응력은 등분포하게 되지 않으며 기둥단면의 하부에 집중된다. 본 연구에서는 실험적 방법과 해석적 방법으로 지압응력의 분포에 대하여 조사하고 그 결과를 이용하여 설계법을 검토하였다. 7개의 H형강 기둥 베이스플레이트 시험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 또한 유한요소해석프로그램인 ANSYS를 이용하여 베이스플레이트의 지압응력의 분포를 해석하였다. 연구결과 지압응력은 기둥단면의 하부에 집중되고 등분포하지 않아 강구조 한계상태 설계기준에서의 등분포한 지압응력의 가정은 적정치 않았다.

ABSTRACT : This study investigates the bearing pressure distribution and design of an H-section steel column baseplate under concentric loading. In general, the size and thickness of the baseplate are determined with the assumption that the bearing pressure of the column baseplate is distributed uniformly. When the column is loaded lightly, however, the baseplate becomes smaller and thinner and the bearing pressure of the baseplate is distributed non-uniformly. In this study, the distribution of the bearing pressure is investigated using the experimental method and the analytical method. Seven specimens of the H-section steel column baseplate were fabricated and tested. The analysis of the specimens was performed using the finite element analysis program, ANSYS. It is not appropriate to use the Limit State Design, which assumes that the bearing pressure of the baseplate is distributed uniformly, because the bearing pressure is distributed non-uniformly and is concentrated under the column section.

핵심용어 : H형강 기둥, 주각부, 베이스플레이트, 지압응력, 유효폭

KEYWORDS : H-Section Steel, Steel Base, Baseplate, Bearing Pressure, Effective Width

### 1. 서론

강구조물의 구조부재의 거동에 관한 연구 중에서 기둥의 주각부에 대한 관심은 매우 적다. 주각은 골조의 최하부에 위치하여 골조가 받는 여러 하중에 의한 응력이 최대가 되는 부분이고 구조물의 구조강도상 가장 중요한 부분이다. 그럼에도 불구하고 주각부의 형태가 매우 다양하다는 점과 베이스플레이트의 하부로 전달되는 하중전달과정이 불명확하다는 이유 등으로 인해 아직 주각부의 구조적 특성은 강구조의 허용응력도 설계

기준과 한계상태설계기준에도 명료하지 못한 상태이며 선진외국에서도 아직 연구성과가 명료하게 정리되어 있지 않다.

이에 본 논문은 가장 기본이 되는 중심 축하중을 받는 철골주각부의 거동을 조사하여 기존문헌에서 제시하고 있는 중심 축하중을 받는 H형강 기둥의 베이스플레이트 설계법에 대해 검토하여 설계기준의 적합성을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다.

#### 1.1 베이스플레이트 설계법에 대한 배경

철골기둥 주각부의 압축강도에 관한 연구의 대상은 다음과

1) 정희원, 아주대학교 건축학부 교수  
(Tel. 031-219-2494, Fax. 031-219-2945, E-mail : sjlee@ajou.ac.kr)  
2) 아주대학교 건축학부 대학원 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2006년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

같이 2가지로 구분된다: (1) 콘크리트 페데스탈의 지압강도와 (2) 탄성체에 지지된 베이스플레이트에 관한 연구. 콘크리트의 지압강도에 대한 최초의 연구는 1876년에 Bauschinger에 의해 수행되었으며 그 후 Withey와 Aston(1939)에 의해 연구결과가 발표되었다. 그리고 Meyerhof(1953)는 콘크리트의 지압강도는 기초의 폭에 대한 콘크리트의 두께의 비에 비례하여 증가함을 발표하였다.

탄성체위에 놓인 베이스플레이트에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되었다. Dewolf(1978)는 무근 콘크리트 입방체위에 놓인 플레이트에 대하여 19개의 실험을 실시하였으며 AISC 기준의 내용이 안전측인 것으로 발표하였다. AISC Manual of Steel Construction의 제7판(1973)에 기술되어있는 설계방법은 다소 안전측의 콘크리트의 허용지압강도를 적용하고 있으며 베이스플레이트의 반력이 등분포하다고 가정하여 안전측으로 설계하는 방법이다. Fling(1970)은 항복선이론과 탄성플레이트의 휨이론을 적용하여 하중이 적은경우의 베이스플레이트의 두께를 결정하는 방법을 제시하였다.

Stockwell(1975)은 H형강 기둥의 베이스플레이트를 설계할 때 플랜지와 웨브의 유효폭 개념을 도입하는 설계방법을 제시하였다. 그 이유는 지압반력은 등분포하게 분포되지 않으며 최대 반력은 H형대로 되기 때문이다. Dewolf, Fling 그리고 Stockwell등은 베이스플레이트와 지지하는 콘크리트페데스탈 사이의 상호작용을 고려하여 여러 가지 설계법을 제시하였다.

국내에서는 최문식, 민병렬(1998)에 의해 콘크리트 페데스탈의 지압강도에 대한 연구가 진행되었으며 중심 축하중을 받는 각형강관기둥 베이스플레이트의 지압응력과 설계에 관한 연구가 이승준(2004)에 의해 수행되었다. 그러나 국내에서의 연구 결과는 매우 미흡한 실정이다.

표 1. H형강 기둥의 베이스플레이트 설계 제안식

구분		외측 캔틸레버		내부 3변고정		내측 캔틸레버		발행 연도
		A	B	B'	C	C'		
		m, n	n'	λ n'	L	L		
AISC/ASD	8th	○	○					1980
	9th	○				○		1989
AISC/LRF D	1st	○				○		1986
	2nd	○		○				1994
	3rd	○		○				2001
Steel Design Guide Series	AISC/ASD	○				○		1991
	AISC/LRFD	○				○		
	Appendix C	○	○					

표 1은 1980년 이후 미국의 설계기준 및 지침에서 제시된

주각부의 설계개념을 분류하여 보여주고 있다. 기본적으로 H형강의 단면보다 큰 베이스플레이트의 설계는 그림 1에 보이는 것과 같은 기둥단면의 외부에 위치한 부분에 대한 외측 캔틸레버의 휨모멘트에 의해 베이스플레이트의 두께가 결정되고, H형강의 단면보다 베이스플레이트의 크기가 조금 크거나 동일한 경우 H형강의 내부에 대한 베이스플레이트의 3변 지지된 상태에서 항복선이론을 적용하여 제시된 설계식(식 4)에 의해 베이스플레이트의 두께를 결정하는 방법을 적용하게 된다. 그리고 중심 축하중이 적은 경우 비등분포하게 분포된 지압응력을 고려하여 기둥 플랜지 외측에서 내부까지의 거리를 나타내는 L와 기둥 플랜지의 중심에서 내부까지의 거리를 나타내는 L로 나타내는 유효폭 개념을 이용한 내측캔틸레버의 휨모멘트에 의해 베이스플레이트의 두께를 결정하는 방법도 제시되어 있다. 그러나 이러한 3가지 설계법의 적용 구분에 대하여 명료하게 제시되고 있지 못한 실정이다.

### 1.2 설계기준 및 지침

국내의 현행 강구조 한계상태 설계기준법 설계기준에서는 철골 주각부 설계를 위해서 베이스 플레이트 크기와 두께를 산정하는 식이 다음과 같이 제시되어 있다.

$$A_1 \geq \frac{P_u}{\phi_B 0.85 f_{ck} \sqrt{A_2/A_1}} \quad (1)$$

여기서,  $P_u$  : 소요축력(kN)

$\phi_B$  : 저항계수 ( $\phi_B = 0.6$ )

$f_{ck}$  : 콘크리트 설계기준강도(MPa)

$A_1$  : 베이스 플레이트 면적(mm<sup>2</sup>)

$A_2$  : 콘크리트 페데스탈 면적(mm<sup>2</sup>)

$$\sqrt{A_2/A_1} \leq 2$$

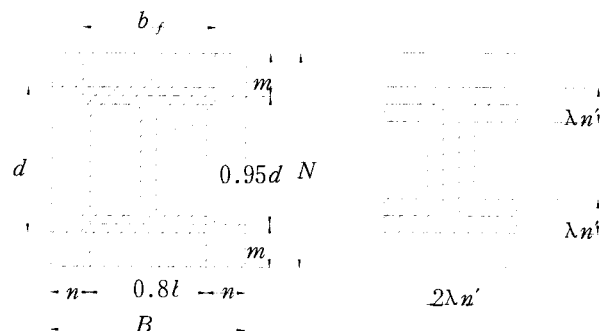


그림 1. 베이스플레이트 지압면적

베이스 플레이트의 두께  $t_{bp}$  는 다음 식으로 산정한다.

$$t_{bp} = l \sqrt{\frac{2P_u}{0.9F_yBN}} \quad (2)$$

$l$  은 다음 식에 의한  $m, n, \lambda n'$  중에서 큰값이다.

$$m = (N - 0.95d) / 2 \quad (3)$$

$$n = (N - 0.8b_f) / 2 \quad (4)$$

$$\lambda n' = \lambda \sqrt{db_f} / 4 \quad (5)$$

다만,  $\lambda$  는 다음 식에 의해 결정된다.

$$X = \frac{4db_f P_u}{(d + b_f)^2 \phi_B P_b} \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}} \leq 1 \quad (7)$$

여기서,  $b_f$  : 기둥플랜지의 폭(mm)

$d$  : 기둥 춤(mm)

$B$  : 베이스플레이트 폭(mm)

$N$  : 베이스플레이트 높이(mm)

$m, n$  : 베이스플레이트 돌출길이(mm)

$\lambda n'$  : 축력 작용하는 유효 H단면의 돌출길이(mm)

$F_y$  : 베이스플레이트 항복강도(MPa)

그림 1은 한계상태 설계기준에서의 베이스플레이트의 지압 면적을 보여주고 있다. 이 기준식에서는 베이스플레이트에 작용하는 지압응력이 등분포하다고 가정하고 있다.

형태를 보여주고 있다. H형강 기둥의 단면은 H-300×300×10×15이고, 베이스 플레이트의 크기는 370×410mm, 310×310mm 두가지의 경우로 결정하였으며, 두께는 9, 16, 25 그리고 30mm의 4가지로 결정하였다. 베이스 플레이트와 기둥의 강재는 SM490이다.

표 2 시험체 일람표

시험체명	H형강 기둥 크기	베이스플레이트	
		크기(mm)	두께(mm)
CH9-A	H-300×300×10×15	370×410	9
CH16-A	H-300×300×10×15	370×410	16
CH25-A	H-300×300×10×15	370×410	25
CH30-A	H-300×300×10×15	370×410	30
CH9-B	H-300×300×10×15	310×310	9
CH16-B	H-300×300×10×15	310×310	16
CH25-B	H-300×300×10×15	310×310	25

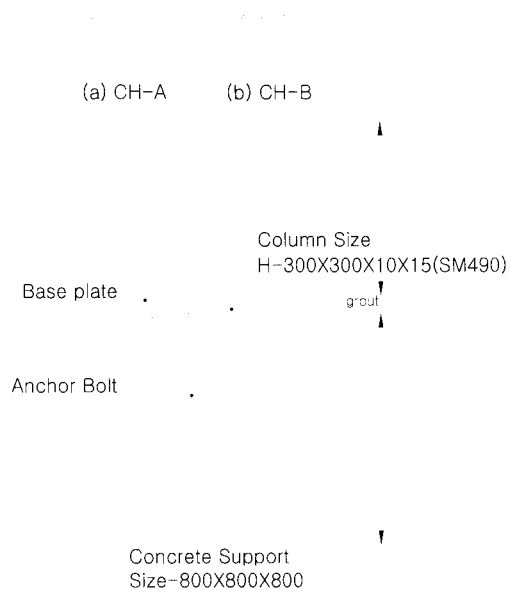


그림 2. 시험체의 형상

## 2. 실험적 연구

### 2.1 시험체 계획

중심 축하중을 받는 H형강 기둥의 베이스플레이트의 지압 응력의 분포와 거동을 조사하기 위하여 시험체를 계획하였다. 앞에서 기술한 바와 같이 H형강기둥의 베이스플레이트 설계는 압축력의 크기에 따라 베이스플레이트의 크기와 두께가 결정된다. 따라서 본 연구에서는 H형강 기둥의 베이스플레이트인 경우에 대하여 크기와 두께를 변수로 결정하여 지압응력의 분포를 조사하고자 시험체를 계획하였다. 표 2와 그림 2는 시험체의 종류와 형상을 보여주고 있다. 주각부 시험체는 콘크리트 페데스탈 위에 H형강 기둥 주각부를 설치하는

콘크리트 페데스탈의 크기는 800×800×800mm이고 내부에는 기본 주철근과 타이바를 배근하였으며 콘크리트 페데스탈의 설계압축강도는 27MPa로 하였다. 베이스 플레이트의 하부에는 약 25mm의 몰탈을 그라우팅하였다. 몰탈 그라우팅의 압축강도는 90MPa가 되도록 배합하였다.

시험체에는 베이스플레이트의 수직변위를 측정하고자 LVDT를 설치하였으며 베이스 플레이트의 휨변형도를 측정하고자 상부면에 스트레인게이지를 부착하였다. 그림 3은 베이스 플레이트에 부착한 스트레인게이지와 LVDT의 위치를 보여주고 있다. 베이스플레이트의 지압응력을 직접 측정하기에는 어려움이 있다. 정밀한 압축응력 게이지를 베이스플레이

트 하부에 설치하면 하부의 지압응력을 측정할 수 있다. 그러나 이러한 계측기의 영향으로 지압응력의 분포가 변할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 지압응력의 분포의 영향을 측정하고자 대칭축을 따라 부착된 스트레인게이지로부터 결과를 수집하고 해석적 연구결과와 상호 비교하고자 하였다.

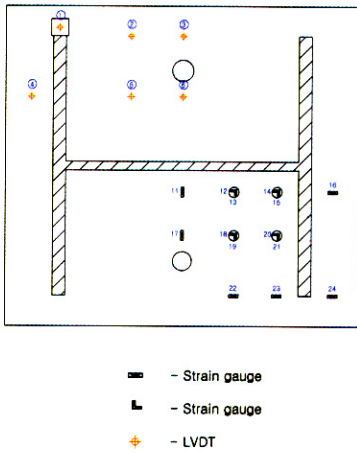


그림 3. LVDT 및 strain gauge 부착위치

### 2.2.2 시험체 실험결과 및 분석

시험체에 대한 압축실험은 10,000kN 용량의 만능시험기(U.T.M.)를 이용하였으며 천천히 압축력을 가력하여 실험을 실시하였다. 그림 4는 실험전경을 보여주고 있다.

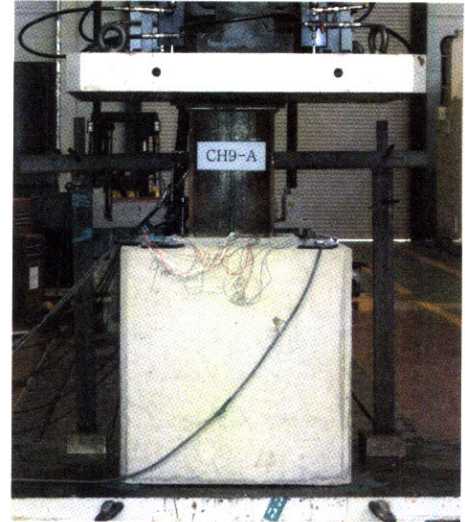


그림 4. 시험체의 실험전경

## 2.2 실험결과 및 분석

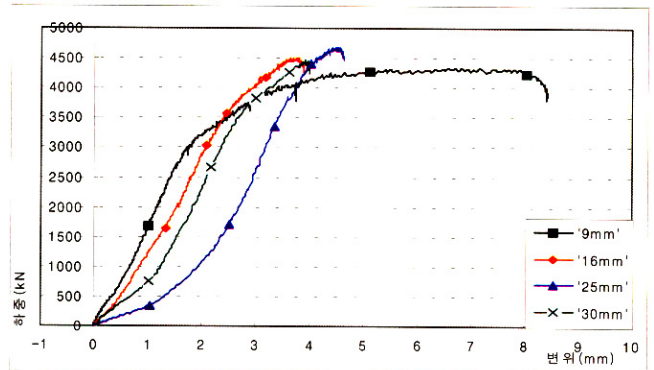
### 2.2.1 구조재료 실험 결과

베이스플레이트에 이용된 강재에 대해 두께별로 인장실험을 실시하였다. 사용된 구조용 강재는 SM490이며 강재의 기준항복강도  $F_y$ 는 325MPa이고 인장강도  $F_u$ 는 490MPa이다. 표 3은 인장시험결과를 보여주고 있으며 기본적인 구조용 강재의 요구사항을 만족하는 것으로 나타났다. 강재 SM490의 경우 항복강도는 332~419MPa로서 기준항복강도 325MPa를 초과하며, 인장강도는 499~544MPa로서 산업규격에서 정한 490MPa이상의 규정을 만족하는 것으로 나타났다.

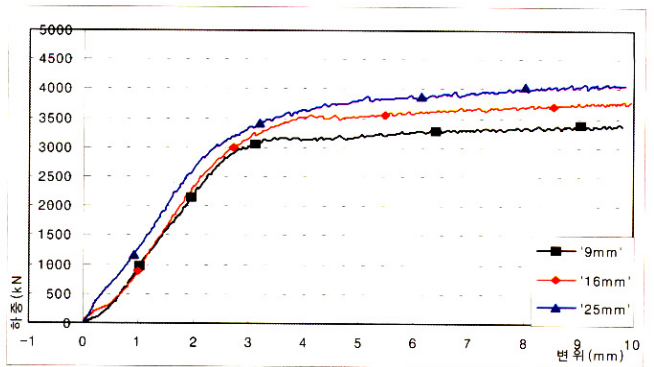
시험체의 제작에 사용된 콘크리트는 외부 레미콘회사로부터 공급받아서 콘크리트 페테스탈을 제작하였다. 주문된 콘크리트의 압축강도는 27MPa이었는데 실험된 공시체의 평균압축강도는 24MPa 로써 예상강도보다 다소 낮게 나타났다.

표 3. 강재의 인장시험결과

강재	두께 (mm)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	항복비
Base Plate	9	419	543	24.8	0.77
	16	337	521	26.9	0.64
	25	333	530	27.6	0.63
	30	332	498	31.3	0.67



CH-A 시험체 하중-변위 곡선



CH-B 시험체 하중-변위 곡선

CH-B 시험체 하중-변위 곡선

그림 5. 하중-변위 곡선

7개의 시험체에 대한 실험으로부터 얻어진 실험결과와 실험동안 관찰된 시험체의 거동과 파괴형태는 다음과 같다.

그림 5는 CH-A와 CH-B 시험체에 대한 하중과 수직변위 관계곡선을 보여주고 있다. 그림 5에서 초기하중에서 수직변위는 실험지그의 영향으로 시험체에 따라 큰 변위를 보여주고 있다. 그러나 이 변위의 의미는 중요하지 않다고 판단된다. 그림 5의 수직변위는 기둥 하부에 부착된 LVDT로부터 측정된 것이다. 모든 시험체의 경우 전체적인 하중-수직변위 관계곡선은 비슷한 양상을 보이고 있다. 시험체는 어느 정도 탄성의 거동을 보인 후에 비탄성적인 거동을 보이면서 하중은 증가하지 않는 거동을 보였다. CH-A, CH-B 시험체 모두 베이스플레이트 하부에 있는 몰탈이 파괴되고 베이스플레이트는 상부방향으로 휨거동을 보이면서 들뜨면서 몰탈면과 이격되고 콘크리트 페데스탈은 수직균열을 일으켰으며 H형강 기둥에는 국부좌굴이 발생하였다. 그림 6의 시험체 CH9-B는 앞서 설명한 파괴형태를 보여주고 있다.

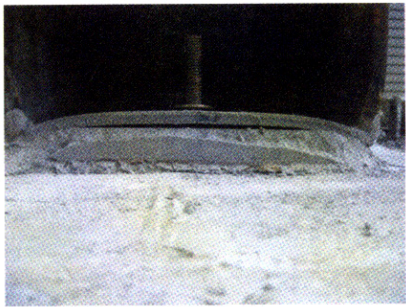


그림 6. 시험체 CH9-B 파괴형태

표 4. 설계하중과 최대실험하중

시험체명	설계하중(kN)	최대실험하중(kN)
CH9-A	1,060	4,330
CH16-A	1,790	4,470
CH25-A	2,450	4,680
CH30-A	3,530	4,420
CH9-B	687	3,410
CH16-B	1,130	3,770
CH25-B	1,620	4,070

표 4는 시험체의 최대실험하중과 한계상태설계법에 의한 설계하중을 비교하여 보여주고 있다. 설계하중은 모든 시험체의 경우 베이스플레이트의 한계휨응력에 의해 결정되었다. 실험중 도달한 최대하중은 CH-A시험체의 경우 4,330~4,680kN, CH-B시험체의 경우 3,410~4,070kN이었으며 두께가 9~25mm인 시험체의 경우 베이스플레이트의 두께가 증가할수록 하중이 증가하는 경향을 보였으나 예외적으로 30mm두께에서는 최대하중이 감소하는 경향을 보였다. 이는

콘크리트 페데스탈의 수직균열이 조기에 발생하여 생긴 것이다. 그러나 베이스플레이트의 두께에 상관없이 최대하중은 설계하중을 크게 초과하여 안전율이 크다는 것을 알 수 있다.

### 3. 유한요소해석

#### 3.1 해석모델

베이스플레이트의 지압응력의 분포와 변형도 분포를 파악하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석법은 베이스플레이트의 지압응력을 해석하는데 편리한 방법이다. 특히 콘크리트 페데스탈과 베이스플레이트가 이격되는 경우 해석을 하는데 편리한 방법이다. 유한요소해석은 비탄성해석프로그램인 ANSYS 8.1을 이용하였다.

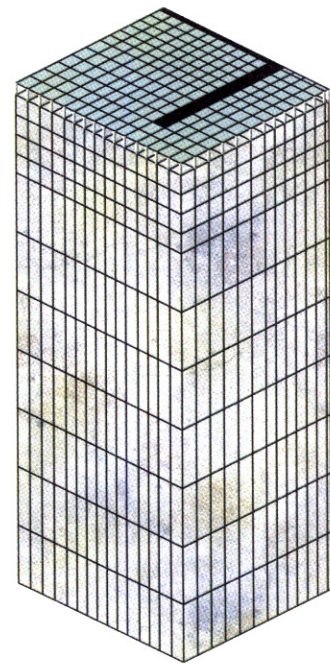


그림 7. 주각부의 유한요소해석 모델

표 5. 주요 재료 정수

종류	요소	탄성계수(MPa)	프와송비
베이스플레이트	SHELL 181	$2.06 \times 10^5$	0.3
콘크리트	SOLID 45	$2.40 \times 10^4$	0.167
그라우트	LINK 10	$3.76 \times 10^4$	0.167
H형강	SHELL 181	$2.06 \times 10^5$	0.3

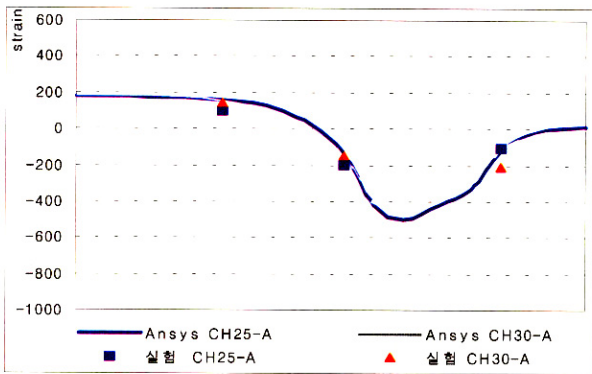
그림 7은 주각부의 유한요소해석 모델을 보여주고 있다. 시험체의 2축대칭성을 고려하여 시험체의 1/4만 해석하였으며

경계조건은 대칭성이 되도록 결정하였다. 매쉬의 기본사이즈는 15mm×15mm를 기본으로 하였으며 계측기의 위치와 각 절점이 최대한 일치하도록 하였다. 베이스플레이트는 플레이트 요소로 모델링하였고 콘크리트 페데스탈은 3차원 입체요소를 사용하였다. 베이스플레이트중 H형강 기둥이 위치하는 부분에는 기둥단면에 의한 강성을 크게 증가하도록 탄성계수를 1,000배 증가하였다. 베이스플레이트와 콘크리트 페데스탈 사이의 몰탈 그라우팅은 압축만을 받을 수 있는 스프링 요소로 모델링하였다. 스프링 요소는 압축에는 유효하게 지지하며 인장을 받는 경우에는 베이스 플레이트의 들뜸(uplift) 때문에 응력을 받지 못한다. 표 5는 유한요소해석에 적용된 주요한 재료의 정수를 보여주고 있다.

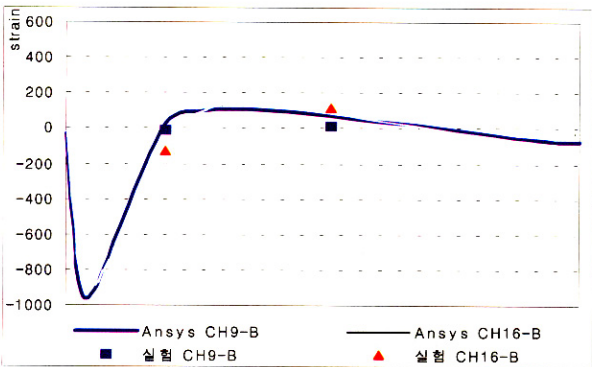
### 3.2 실험결과와 해석결과의 비교

CH-A, CH-B 실험체의 유한요소모델은 베이스플레이트의 크기는 동일하게 모델링 하였고 베이스플레이트의 두께를 변수로 하여 해석하였다. 본 모델링에서는 탄성해석만을 수행하였다.

#### 3.2.1 스트레인 비교



X-축 strain 비교(CH25-A, CH30-A)

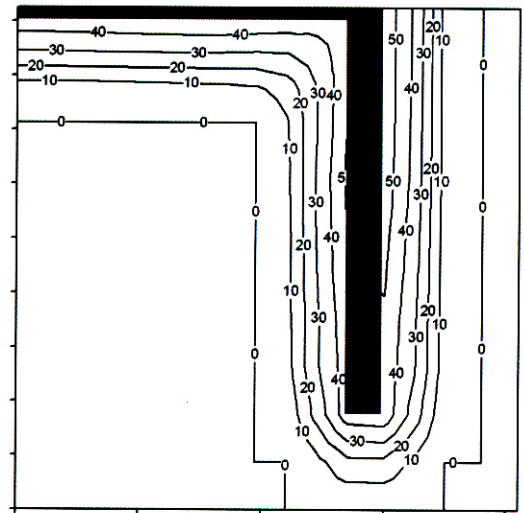


Y-축 strain 비교(CH9-B, CH16-B)

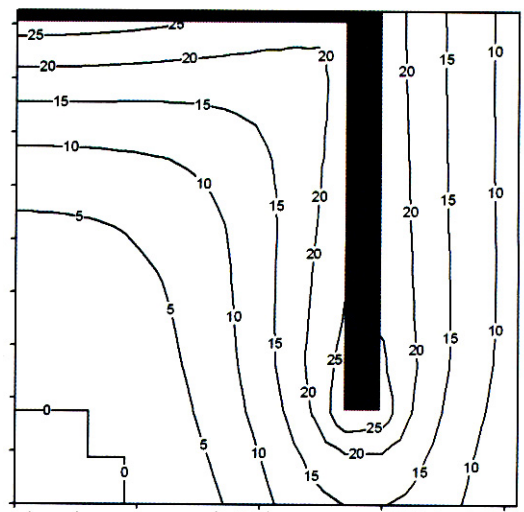
그림 8. 해석과 실험결과의 스트레인 비교

스트레인의 분포에 대한 실험결과와 유한요소해석 결과를 비교하였다. 그림 8은 시험체 CH16-A, CH25-A의 X-방향 스트레인을 비교한 것과 시험체 CH9-B, CH16-B의 Y-방향 스트레인을 비교한 것을 보여주고 있다. X-방향은 그림 3에서 H형강 플랜지의 끝부분에서 웨브와 나란한 스트레인게이지로부터 얻어진 변형도이고 Y-방향은 H형강 웨브의 중앙부에서 H형강 플랜지와 나란한 스트레인게이지로부터 얻어진 변형도이다. 그림 8에서 보여지듯이 유한요소해석을 통해 얻은 스트레인값과 실험결과의 스트레인값은 각 방향에서 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다.

#### 3.2.2 지압응력의 분포



bearing pressure(MPa) contour (CH9-A)



bearing pressure(MPa) contour (CH30-A)

그림 9. 지압응력의 분포 CONTOUR

그림 9는 유한요소해석에 의해 얻어진 시험체 CH9-A와 시험체 CH30-A의 지압응력의 분포를 나타내는 contour를

보여주고 있다.

H형강 기둥의 외부에 있는 베이스플레이트의 캔틸레버부분의 지압응력이 등분포하지 않음을 알 수 있으며 H형강 기둥 내부의 베이스플레이트 하부의 지압응력도 비등분포하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 시험체 CH9-A와 CH30-A 모두 H형강 기둥 내부에서는 들뜸(uplift)으로 인하여 지압응력이 없음을 보여주고 있다. 시험체 CH9-A에서는 지압응력의 분포가 H형강 기둥 바로주변에 집중하여 분포되어 있고 시험체 CH30-A에서는 H형강 기둥에서 비교적 멀리까지 지압응력이 분포되어 있음을 알 수 있다. 이러한 지압응력의 비등분포성 때문에 베이스플레이트의 두께가 작을수록 들뜸의 면적은 크게되고 베이스플레이트의 두께가 클수록 지압응력의 분포는 등분포하게 변하게 됨을 알 수 있다.

### 3.3 설계식 검토

강구조 한계상태 설계기준법에서 제시하고 있는 주각부 설계의 적정성을 검토하기 위해 H형강 기둥 H-300×300×10×15(강재 SM490)에 대하여 강구조 한계상태 설계기준에 따라 베이스플레이트의 크기와 두께를 결정하였다. H형강 기둥의 최대설계하중  $P_u$ 를 기준으로  $0.2 P_u \sim 1.0 P_u$ 의 하중에 대해서 베이스플레이트의 크기와 두께를 설계하면 표 6과 같다. 이 때, 콘크리트 페데스탈의 크기는 베이스플레이트 크기의 4배라고 가정하였다.

표 6. 한계상태 설계기준으로 설계된 베이스플레이트 크기와 두께

$P_u$	Base Plate 크기 (mm)	설계식에 의한 두께 $t_p$ (mm)
$1.0 P_u$ (3,300kN)	372x328	32.3
$0.9 P_u$ (2,970kN)	354x310	32.3
$0.8 P_u$ (2,640kN)	335x300	31.8
$0.7 P_u$ (2,310kN)	300x300	31.5
$0.6 P_u$ (1,980kN)	300x300	29.1
$0.5 P_u$ (1,650kN)	300x300	26.6
$0.4 P_u$ (1,320kN)	300x300	20.9
$0.3 P_u$ (989kN)	300x300	14.9
$0.2 P_u$	300x300	9.50

(659kN) 설계식에 의해 베이스플레이트의 크기와 두께를 계산한 결과 하중이 증가함에 따라 베이스플레이트의 두께가 32.3mm 까지 증가하였고 베이스플레이트의 크기는  $0.7 P_u$  하중까지는 300×300mm로 일정하였고 그 이상의 하중에서는 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.

#### 3.3.1 유효면적과 최대지압응력

강구조 한계상태 설계기준에서 제시하고 있는 설계식에서는 최대지압응력이 기둥재형상에 따라 등분포하거나 베이스플레이트에 등분포 하다고 가정하고 있다. 그러나 앞에서 기술한 바와 같이 베이스플레이트의 지압응력은 등분포하지 않다. 따라서 비등분포한 지압응력을 유효요소해석을 통해 유효폭의 개념을 적용하여 등분포한 지압응력으로 나타낼 필요가 있다. 표 6에 따라 하중별 경우에 대해 모델링하여 유효요소해석을 수행한 결과 지압응력의 분포를 얻을 수 있었다.

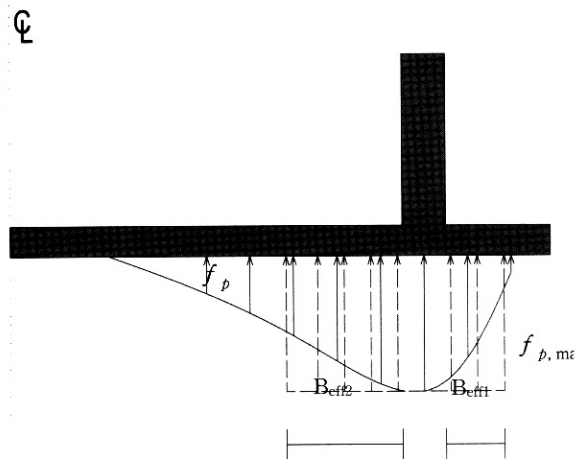


그림 10. 지압응력 분포와 유효폭 개념

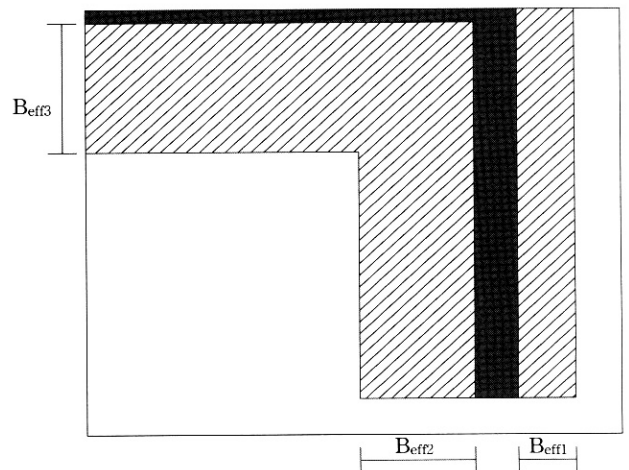


그림 11. 베이스 플레이트의 유효면적

그림 10은 베이스플레이트의 대칭축에서 지압응력의 분포와 유효폭의 개념을 보여주고 있다. H형강 기둥의 벽면에서 최대지압응력이 발생하였으며 베이스플레이트의 가장자리로 가면서 또는 H형강 기둥 내부로 가면서 지압응력은 점차 감소하는 거동을 보였다. 베이스플레이트의 두께가 얇은 경우 H형강 기둥 내 하부 베이스플레이트에는 들뜸(uplift)이 발생하여 지압응력이 없는 부분이 증가하는 경향을 나타냈다. 비등분포한 지압응력에 의해 결정되는 기둥면에서의 최대 휨응력과 유효폭의 등분포한 최대 지압응력에 의해 결정되는 기둥면에서의 최대휨응력을 일치하게하여 유효폭을 결정하고자 하였다. 즉 유효폭,  $B_{eff}$ 를 결정하는 식은 다음과 같다.

$$M_{face} = \int f_p x dx = \frac{1}{2} f_{p, max} B_{eff}^2 \quad (8)$$

- 여기서  $M_{face}$  : 기둥면에서의 최대휨모멘트(kN·mm)
- $f_p$  : 지압응력(MPa)
- $f_{p, max}$  : 최대지압응력(MPa)

이러한 유효폭은 H형강 기둥 내부와 외부베이스플레이트에서 결정하였다. 그 결과 베이스플레이트는 그림 11과 같이 유효면적에서 등분포한 지압응력을 받게 된다.

표 7. 유효면적과 최대지압응력

$P_u$	유효폭(mm)			유효면적 (mm <sup>2</sup> )	최대지압응력 $f_{p, max}$ (MPa)
	$B_{eff1}$	$B_{eff2}$	$B_{eff3}$		
1.0 $P_u$ (3,300kN)	22.2	61.7	72.0	81920	44.1
0.9 $P_u$ (2,970kN)	16.8	54.8	66.1	74770	42.8
0.8 $P_u$ (2,640kN)	8.7	51.9	60.4	67112	42.8
0.7 $P_u$ (2,310kN)	·	49.6	57.1	59970	46.1
0.6 $P_u$ (1,980kN)	·	46.3	51.5	56830	41.2
0.5 $P_u$ (1,650kN)	·	42.8	45.6	53340	36.1
0.4 $P_u$ (1,320kN)	·	35.1	33.7	45520	33.0
0.3 $P_u$ (989kN)	·	26.4	22.5	36790	29.3
0.2 $P_u$ (659kN)	·	17.4	13.9	28330	23.3

표 7은 표 6의 하중경우에 따라 유한요소해석을 통해 얻어진 유효면적과 최대지압응력을 보여주고있다. 표 7의 결과를 보면 H형강 기둥 외부의 베이스플레이트 캔틸레버부분의 유효폭보다 H형강 기둥 내부에서의 유효폭이 큼을 알 수 있다. 또한 하중이 증가함에 따라 베이스플레이트에 작용하는 지압응력의 유효면적이 증가함을 볼 수 있다. 이는 하중이 증가함에 따라 베이스플레이트에 등분포하게 작용하는 지압응력의 면적이 증가하는 것을 나타낸다.

강구조 한계상태 설계기준에서는 최대지압응력  $F_p$ 를  $\phi_B 0.85 f_{ck} \sqrt{A_2/A_1}$ 으로 규정하고 있다. 유한요소해석 모델의 경우 콘크리트 압축강도를 27MPa으로 하였고 콘크리트 페데스탈의 면적을 베이스플레이트 면적의 4배로 가정하였으므로 최대지압응력은 27.5MPa으로 규정되어 진다. 유한요소 해석결과와 비교하여 보면 0.2  $P_u$  하중 경우를 제외하고는 모든 경우에서 최대지압응력은 강구조 한계상태 설계기준에서 정한 최대지압응력보다 큼을 알 수 있다. 이는 기준에서 정한 최대지압응력은 하중에 따라 적정하지 못한 부분이 있음을 말해 준다.

이 결과는 특정한 H형강 기둥 사이즈(H-300×300×10×15)와 콘크리트 페데스탈 크기에 대해 얻어진 결과이다. H형강 기둥의 크기와 콘크리트 페데스탈의 크기가 다른 경우 유효면적과 최대지압응력은 다르게 나타날 것이나 하중 증가에 따라 유효면적이 증가하고 최대지압응력이 증가하는 경향은 유사하게 나타날 것이다.

### 3.3.2 강구조 한계상태 설계법의 적정성 검토

강구조 한계상태 설계기준에서 주각부의 설계는 지압응력이 등분포하다고 가정하고 기둥의 외부에 해당하는 부분은 캔틸레버의 휨모멘트에 의해 두께를 결정하고 내부에서는 3변고정의 항복선 이론 개념을 도입한 설계법으로 베이스플레이트의 두께를 결정한다. 그러나 실제 H형강 기둥 주각부의 경우 비등분포한 지압응력이 분포하며 최대지압응력의 크기도 다름을 유한요소해석 결과를 통해 알 수 있었다.

여기에서는 비등분포한 지압응력을 등분포하게 가정하여 베이스플레이트의 크기와 두께를 산정한 강구조 한계상태 설계기준과 기준식에서 얻어진 베이스플레이트의 크기와 두께로 모델링한 유한요소해석모델의 결과를 비교하여 설계식의 적정성을 검토하고자 하였다. 표 8은 앞서 강구조한계상태 설계기준에 따라 설계한 베이스플레이트의 두께와 최대 휨모멘트와 유한요소해석을 통해 얻어진 최대 휨모멘트와 베이스플레이트의 두께를 보여주고 있다. 유한요소해석으로 얻은 H형강 기둥면에서 최대 휨모멘트와 휨응력도  $F_b = 0.9F_y$ 를 적용하여 두께를 산정하였다.



표 8. 한계상태 설계기준과 유한요소해석과의 비교

$P_u$	최대휨모멘트 $M_{max}$ (kN·mm/m) m)		베이스플레이트 두께(mm)		
	한계상태 설계기준	유한요소해 석	한계상태 설계기준	유한요소 해석	설계기준/ 해석
1.0 $P_u$ (3,300kN)	76.0	40.1	32.3	23.5	1.38
0.9 $P_u$ (2,970kN)	76.0	37.8	32.3	22.8	1.42
0.8 $P_u$ (2,640kN)	73.8	34.4	31.8	21.7	1.46
0.7 $P_u$ (2,310kN)	72.1	35.4	31.5	22.1	1.43
0.6 $P_u$ (1,980kN)	61.8	27.7	29.1	19.5	1.50
0.5 $P_u$ (1,650kN)	51.5	20.4	26.6	16.7	1.59
0.4 $P_u$ (1,320kN)	31.8	11.4	20.9	12.5	1.67
0.3 $P_u$ (989kN)	16.1	4.70	14.9	8.04	1.85
0.2 $P_u$ (659kN)	6.50	1.20	9.50	4.10	2.33

표 8에서 보이는 바와 같이 한계상태 설계기준식에 의해 산정한 최대 휨모멘트와 베이스플레이트 두께는 하중이 작을수록 유한요소 해석결과와 큰 차이를 보였으며 하중이 증가할수록 오차범위는 작아졌다. 하중이 0.2  $P_u$ 인 경우 한계상태 설계기준은 유한요소해석보다 2.33배의 베이스플레이트 두께를 산정하였으며 하중이 증가할수록 오차가 감소하여 1.0  $P_u$  하중의 경우 1.38배의 베이스플레이트 두께를 산정하였다.

이는 하중이 증가할수록 지압응력의 분포가 비등분포 지압응력에서 등분포 지압응력으로 바뀌어가는 것을 보여준다. 그러나 최대설계하중에서도 여전히 베이스플레이트의 두께는 과도하게 나타난 것으로 보아 지압응력의 분포를 등분포하게 가정한 한계상태 설계기준의 기준식은 과대설계하게 되는 것을 알 수 있다.

그러나 다양한 H형강 기둥의 크기와 축하중의 크기를 고려한 적절한 설계식의 제시는 복잡한 문제이다. 비등분포한 지압응력의 분포를 고려한 설계식의 제시가 앞으로 필요한 과제이다.

#### 4. 결론

중심 축하중을 받는 H형강 기둥 베이스플레이트의 설계방

법의 적정성을 조사하기 위하여 실험적 연구와 해석적 연구를 수행하였다. 7개의 주각부 시험체를 제작하여 실험을 실시하였으며 유한요소해석법을 이용하여 베이스플레이트의 두께에 따른 지압응력의 분포와 설계방법의 적정성을 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 베이스플레이트 두께에 따라 지압응력은 비등분포하게 발생하였으며 등분포 지압응력의 가정은 베이스플레이트의 두께가 얇을수록 적절하지 않았으며 두께가 얇을수록 H형강 기둥단면 하부에 응력이 집중하는 현상을 보였다.
- (2) 강구조 한계상태 설계기준에서 정한 최대지압응력은 작은 하중에서는 유효하였으나 하중이 증가할수록 설계식의 최대지압응력보다 더 큰 지압응력의 분포가 나타났다.
- (3) 등분포한 지압응력으로 가정한 기존의 설계방법을 유한요소해석모델과 비교한 결과 기존의 설계 방법은 두꺼운 베이스플레이트를 결정하여 비경제적인 것으로 나타났다.
- (4) 비등분포한 지압응력의 분포를 고려한 경제적인 설계식을 제시하기 위해서는 앞으로 보완적인 연구가 필요하다고 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00239-0)지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

- 대한건축학회(2004) 강구조 한계상태 설계기준, 대한건축학회.
- 이승준, 김정현 (2004) “중심 압축력을 받는 각형강관기둥 베이스플레이트의 지압응력과 설계에 관한 연구”, 한국강구조학회 논문집, 제16권 4호.
- 최문식, 민병렬 (1998) “하중을 받는 철골주각부의 철근보강에 따른 지압강도에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 14권 9호.
- AISC(2001), Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Building 3rd Ed., Chicago, American Institute of Steel Construction
- Thompson, B. G., D. L. Wade, and T. M. Murray (1976) Behavior of Lightly Loaded Steel Column

- Base Plates, Research report submitted to Star Manufacturing Company, Oklahoma City, OK, School of Civil Engineering and Environmental Science, University of Oklahoma-Norman, July
- Withey, Morton O. and James Aston(1939) Johnson's Materials of Construction John Wiley and Sons, Inc., New York,
- Meyerf, G. G.(1953) The Bearing Capacity of Concrete and Rock Magazine of Concrete Research: London, vol 4, April
- De wolf, John T.(1978) Axially Loaded Column Base Plates Journal of the Structural Division, ASCE, vol. 104, No. ST5, May
- AISC(1973) Manual of steel Construction American Institute of steel Construction, 7th Ed., New York, (pp.3-95)
- Fling, R. s.(1980) Design of Steel Bearing Plates Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, 8th Ed., Chicago, (pp.3-99)
- Stockwell, Frank W., Jr(1975) Preliminary Base Plate Selection Engineering Journal, American Institute of Steel Construction, Vol. 21, No. 3, Third Quarter,
- Baushinger, J.(1876) Versuche mit Qudern aus Naturstein, Mitteilungen, Mechanisch und Technichen Laboratorium der kgl. Technischen Hochschule, Munich. Germany, Vol.6,
- (접수일자 : 2005. 9. 15 / 심사일 2005. 10. 5 /  
심사완료일 2005. 11. 17)