

# 폭두께비가 큰 각형CFT 단주의 설계식

## Design Equation for Square CFT Columns with Large Width-to-Thickness Ratio

김 선 희<sup>1)</sup> · 최 영 환<sup>2)</sup> · 최 성 모<sup>3)</sup>  
*Kim, Sun Hee Choi, Young Whan Choi, Sung Mo*

요 약 : AISC(2005)나 KBC(2005)등의 기준에서는 콘크리트 충전 강관(Concrete Filled Steel Tube) 기둥의 내력산정에서 폭두께비의 제한을 두고 있으며 최대 폭두께비를 초과하는 기둥에 대해서는 설계식을 제시하지 않고 있다. 본 연구는 stiffened (양단지지) 플레이트에서는 좌굴이 발생하더라도 바로 내력저하가 발생하지 않고 상당한 양의 좌굴 후 강도를 발휘할 수 있어 폭두께비가 큰 강관을 사용하는 것이 경제적인 수 있다는 점을 착안, 유효폭 개념을 도입해서 폭두께비가 큰 각형 CFT의 강도를 계산할 수 있는 설계식을 제안하였다. AISC 2005, KBC 2005와 본 연구에서 제안한 식을, 폭두께비를 변수로 수행한 4개의 각형 CFT 기둥 실험결과와 비교하였으며 제안된 설계식의 적용가능성을 확인하였다. 이에 Uy(2005), Dalin Liu(2005)는 폭두께비가 큰 단주 CFT에 한해서 선행 연구된 실험데이터를 근거로 제안 설계식을 단순적용 하였다. 폭두께비가 초과된 각형CFT 단주를 검토 대상기본으로 1. 용접 조립된 정사각형 단면 2. 모살용접된 정사각형 단면 (b/t 60mm, 80mm, 100mm) 3. 한 쪽면의 폭두께비가 초과하는 직사각형단면의 (b/t 45.5) 실험체를 선정하여 제안식의 타당성을 검토해 보고자 한다.

ABSTRACT : The design standards, such as AISC-LRFD (2005) and KBC-2005, specify the maximum width-to-thickness ratio that can be used for computing the strength of the concrete-filled tube (CFT), and do not include any formula for computing the strength when the width-to-thickness ratio is over the limit. This paper proposes a strength equation for CFTs with a large width-to-thickness ratio by acknowledging the fact that the stiffened slender steel plate has substantial postbuckling strength, and that it therefore can be more economical to use it. The equation adopts the concept of effective width, which is very useful for plate analysis. By comparing the strengths of AISC2005, KBC2005, and the proposed method with the results of the experiment, where the width-to-thickness ratio was regarded as the main parameter, the applicability of the proposed method was verified.

핵 심 용 어 : 각형 CFT, 단주, 폭두께비, 유효폭, 설계식

KEYWORDS : square CFTs, stub columns, width-to-thickness ratio, effective width, design strength

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

콘크리트 충전강관 (Concrete Filled Tube: CFT) 구조는 강관이 콘크리트의 횡변위를 억제하고 (구속효과) 콘크리트는 강관 플레이트의 안쪽 방향으로의 국부좌굴을 지연시켜, 강관과 콘크리트의 상호작용으로 인해 강도와 연성이 증가되는 구조 시스템이다. 또한 강관 자체가 거푸집으로 사용되기 때문에 공사기간 및 거푸집 설치에 필요한 노무비 및 재료비에서도 경

제적 이득을 얻을 수 있는 등 다른 재료에 비해 여러 장점을 가지고 있어 CFT기둥은 최근 수세기 동안 그 사용이 상당히 증가하고 있는 추세이다.

한편, 최근 강재 가격의 상승과 고강도 재료 (콘크리트, 강재)의 개발로 인해 보다 더 효율적으로 강재를 이용할 수 있는 부재 개발의 필요성이 높아지고 있다. 압축력을 주로 받는 기둥의 경우, 얇은 두께의 강관을 이용하고 내부에 콘크리트를 충전하면 상당히 경제적인 구조시스템이 된다 (Bridge and O'Shea (1998)). 얇은 강관을 이용한 각형 CFT기둥은, 구속효과와 좌굴지연이라는 CFT가 가지고 있는 구조적 장점뿐

1) 서울시립대학교 구조연구실, 공학석사(sun@uos.ac.kr)  
2) 서울시립대학교 공학박사, 연구교수(choi4u@gmail.com)  
3) 교신저자. 서울시립대학교 건축학부 교수, 공학박사  
(Tel. 02-2210-2396, Fax. 02-2248-0382, E-mail : smc@uos.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

만 아니라, 폭두께비가 큰 플레이트에서 나타나는 좌굴 후 강도도 기대할 수 있기 때문에 강관과 콘크리트의 장점이 효율적으로 결합된 부재이다.

지금까지 국내 기준 (KBC) 의 모태가 되어 온 미국 강구조 학회의 기준인 AISC(20005)는 이전 버전(AISC, 1999)에 비해 CFT기둥에서 사용할 수 있는 폭두께비의 제한치를 완화 하였으며 이는 추후 발행될 국내 기준인 KBCS2009에서도 반영이 될 것으로 기대된다. 하지만, 한계 폭두께비를 초과하는 폭두께비를 가지는 CFT기둥에 대해서는 아직 적용 가능한 설계식이 제시되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 향후 폭두께비가 큰 각형 CFT기둥에도 적용가능한 설계식 제정을 최종 목표로, 우선적으로 단주의 설계식을 제안하고자 한다. 설계식은 플레이트의 해석에서 자주 응용되는 유효폭 개념을 도입하여 제시하고자 한다. 또한 각형 CFT 단주를 대상으로 압축강도 실험을 수행하여 제안된 설계식의 적용 가능성을 검증하고자 한다. 이에 Uy(2005), Dalin Liu(2005)는 폭두께비가 큰 CFT 단주에 한해서 선행 연구된 실험데이터를 근거로 제안 설계식을 단순적용 하였다. 폭두께비가 초과된 각형CFT 단주를 검토 대상기본으로 1) 용접 조립된 정사각형 단면 2) 모살용접된 정사각형 단면 (b/t: 60, 80, 100), 3) 한 폭면의 폭두께비가 초과하는 직사각형 단면의 (b/t: 45.5) 실험체를 선정하여 제안식의 타당성을 검토해 보고자 한다.

### 1.2 기존연구

콘크리트의 구속효과로 인해 기둥면 바깥방향의 국부좌굴이 발생되며 다음 그림 1과 같은 국부좌굴모드는 합성기둥의 내력과 임계 국부좌굴 강도를 상당히 증가시키게 된다. 이러한 이점으로 인해 1960년대부터 콘크리트 충전강관 기둥의 연구가 수행되어 왔다.

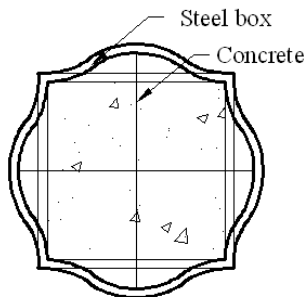


그림 1. CFT기둥 국부좌굴모드

Furlong(1967)은 단주 콘크리트 충전강관 기둥의 극한내력강도에 대한 실험을 수행하였으며, 콘크리트의 구속효과로 인한 강도증가 없이 강관과 콘크리트가 독립적으로 축하중에

저항한다는 연구결과를 내었으며, 콘크리트 충전된 기둥의 국부좌굴 강도는 무충전된 강관보다 훨씬 큰 것으로 확인하였다. Shakir-Khalil and Mouli(1990)과 Schneider(1998)는 콘크리트 충전기둥의 극한하중과 거동에 대한 연구를 수행하였다. 또한 김진호, 전상우(1999)는 폭두께비에 따른 콘크리트 충전강관 단주의 중국내력 평가실험을 수행하였다. 최근에는 강재의 고강도화에 따른 얇은 플레이트를 이용한 콘크리트 충전강관 기둥의 연구가 진행되어 왔으며, 얇은 강관 플레이트를 이용한 콘크리트 충전강관 기둥은 거동과 극한 하중의 강관 플레이트의 국부좌굴에 의하여 영향을 받게 된다. 따라서 국부좌굴에 대한 실험과 해석적 연구는 Ge and Usami (1992, 1993)에 의해 수행되었으며, 콘크리트가 충전된 강관 플레이트 내부에 스티프너를 부착하였다. 한편 이성희, 최성모 (2008)는 얇은 강관을 L형으로 절곡한 4개의 단위부재를 용접하여 각형강관의 CFT기둥으로 사용될 경우 국부좌굴을 지연하는 것을 구조실험으로 확인하였다. (Wright(1993, 1995)는 콘크리트와 접촉에 비례하는 얇은 강관 플레이트에 대한 폭두께비를 제한치를 결정하였다.

국부좌굴영향을 받는 콘크리트가 충전된 박스기둥의 극한 강도에 대한 실험적 연구는 B. Uy and Bradford (1995), B. Uy(2000), Zhang YaoChun(2006)에 의하여 수행되어 왔으며 Liang 과 Uy(1998, 2000)는 콘크리트 충전강관 기둥의 강관 플레이트에 대한 유효폭 모델을 제안하였다.

### 2. 강관의 국부좌굴 강도

#### 2.1 플레이트의 탄성 좌굴 응력

제안식에 앞서 강관의 국부좌굴 강도에 대해 간략하게 설명 하겠다. 플레이트에서의 탄성좌굴응력은 잘 알려진 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

$$\sigma_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)(b/t)^2} \tag{1}$$

여기서, b는 플레이트 폭, t는 플레이트 두께,  $\nu$ 는 프와송비 (강재의 경우 0.3), E는 탄성계수이다. k는 플레이트의 형상과 단부경계조건이 좌굴응력에 미치는 영향을 나타내기 위해 사용된 좌굴계수이다. 양단이 고정된 플레이트의 경우, k는 6.97로 알려져 있지만, CFT기둥에서는 콘크리트에 의해 좌굴이 지연되므로 일반 플레이트에서 사용되는 k값과는 다른 값을 가지게 된다. Liang and Uy (2000)는 이상적인 조건을 가정하여 CFT기둥에서의 k값을 9.81로 제안하였고 Mursi

and Uy (2003)는 10.31로 제안하였다. 본 연구에서는 10.31을 사용하였다.

### 2.2 국부좌굴 후 유효폭과 강도

세장한 기둥 또는 실린더는 좌굴이 발생하는 시점에 최대내력이 형성되는 것과는 달리, 폭두깨비가 큰 양단고정 플레이트에서는 좌굴이 발생하더라도 바로 파괴에 이르지 않고 응력재분배가 일어나 상당한 양의 좌굴 후 강도를 발휘하게 된다. 각형강관의 경우, 플레이트가 좌굴(국부좌굴) 된 후에는 응력 재분배로 인해 강관의 모서리 부분에서 많은 하중을 흡수하게 되고 중앙부는 상대적으로 낮은 응력을 받게 된다. 이와 같은 응력분포 상태로 인해 플레이트의 좌굴 후 거동 해석에서 자주 응용되는 유효폭 개념이 제시되었다. 다시 정리를 하면, 국부좌굴 후 플레이트 내에서 응력재분배가 일어나 강관의 모서리 부분은 매우 높은 응력을 받는 반면, 좌굴된 중앙부는 상대적으로 낮은 응력을 받게 된다. 따라서 폭두깨비가 큰 강관의 국부좌굴 후 (post-local buckling) 강도는 유효폭 개념에 의해 대략적으로 표현될 수 있다. 따라서 유효폭은 극한 하중상태에서 강재의 항복강도 까지 응력을 받는 반면 비 유효폭( $b_{ne}$ )의 응력은 0이 된다. (Liang and Uy, 2000)

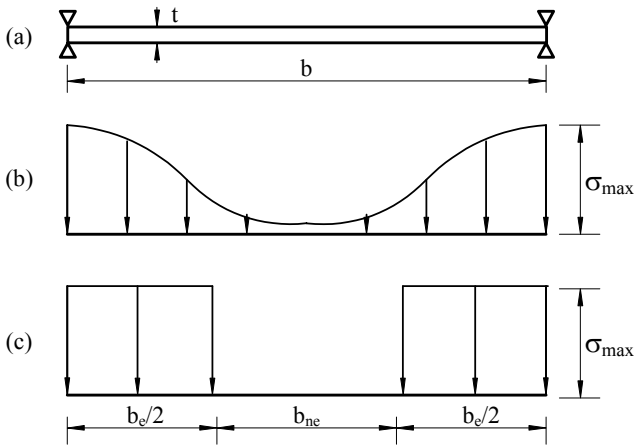


그림 2. 유효폭 개념

유효폭의 개념을 그림 2에 보다 자세히 나타내었다. 그림 2(a)는 등분포 압축력을 받는 플레이트의 단면을 나타낸 것이고 그림 2(b)는 좌굴 발생 후 최대내력 상태에서의 실제 응력 상태를 나타낸 것이다. 그림 2(c)는 유효폭 개념을 적용, 그림 2(b)를 치환하여 나타낸 것이다. 그림 2(c)는 그림 2(b)의 비선형으로 변화하는 실제응력을 “플레이트의 양단부에 작용하는 실제 (최대)응력( $\sigma_{max}$ )이 유효폭( $b_e$ )에 걸쳐 일정하게 분포되며 좌굴된 중앙부는 0 응력으로 가정”하여 변환된 것이다.

초기변형과 잔류응력을 고려하는 경우, 플레이트의 유효폭은 식 (2)와 같은 관계에 있다. (Mursy and Uy (2003)).

$$\frac{b_e}{b} = \alpha \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{F_y}} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$ 는 초기변형과 잔류응력을 고려하기 위해 사용된 값으로 단부의 경계조건과 제작 방법에 의해 결정되어진다. Australia 기준인 AS 4100-1990 (Standard Australia, 1990)에서 강재의 경우  $\alpha$ 의 값으로 표 1을 제안하고 있다. 본 연구에서의 시험체 용접제작에 있어서 E71T-1  $\phi$ 1.6mm 전극봉을 사용한 FCAM(Flux-Cored Arc Welding) 방식으로 행하였다. 가장 일반적인 방식이지만 잔류응력이 가장 좋지 않은 경우를 가정하여  $\alpha=0.65$ 를 사용하였다.

표 1. 경계조건과 제작방법에 따른  $\alpha$  값 (AS4100-1990)

경계조건	제작방법	$\alpha$
supported on two longitudinal edges	Stress relieved	0.84
	Hot-rolled	0.84
	Lightly welded	0.74
	Heavily welded	0.65

### 3. 설계식 제안

#### 3.1 AISC2005와 KBC2005의 설계식

국내 각국의 기준에서는 단면 형상에 따라 CFT기둥으로 사용될 수 있는 강관의 한계 폭두깨비를 제한하고 있다. AISC 2005와 KBC2005 에서 제한하고 있는 각형 CFT 적용범위는 다음 표 2와 같다.

표 2. 각형CFT 적용범위

	KBC2005	AISC2005
$A_{s\ min}$	4%	1%
$f'_c$	20.5 Mpa	21-70 Mpa
$F_y$	415 Mpa	525 Mpa
$b/t$	$\sqrt{3E/F_y}$	$2.26 \sqrt{E/F_y}$

CFT기둥의 최대폭두깨비에 대한 규정은 강관이 탄성상태에서 좌굴되는 것을 방지하고자 하는 목적으로 비충전강관의 한계값과 동일하게 제시되었었다 (AISC1999). 그 후 CFT기둥에서는 충전콘크리트의 영향으로 비충전강관의 탄성좌굴응력과 다르다는 연구결과를 반영하여 현재 AISC2005는 식 (3)으로 보다 완화된 제한치를 제시하고 있으며 향후 발행될

KBCS2009에서도 반영될 것으로 기대한다. (폭두께비 외에도 다른 제한조건이 있으나 여기에서는 생략한다.) AISC 2005는 이 범위를 만족하는 범위의 CFT 단주에 대해서 식 (3)와 (4)을 설계식으로 제시하고 있다.

$$P_o = A_s F_y + 0.85 A_c f'_c \quad (3)$$

$$P_n = P_o \left[ 0.658 \left( \frac{P_o}{P_c} \right) \right] \quad (P_c \geq 0.44 P_o \text{ 인 경우: 단주}) \quad (4)$$

Pe는 유효강성을(EIeff)을 고려한 Euler 좌굴하중으로 보다 자세한 내용은 AISC(2005)에서 참고 할 수 있다.

### 3.2 설계식 제안

폭두께비가 큰 CFT기둥에도 적용가능한 압축강도 설계식을 제안하기 위해 먼저 강관 플레이트를 그림3에 나타낸 것과 같이 코너부분과 직선부분으로 나누었다. 코너부분에서는 강관의 항복응력도까지 유효한 것으로 가정하였고 직선부분에만 유효폭의 개념이 적용되는 것으로 가정하였다.

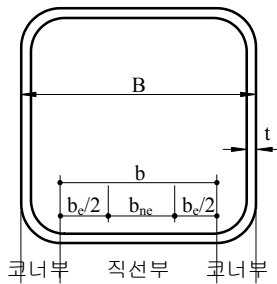


그림 3. 유효폭 적용구간

엄밀한 의미에서는 코너부분에서도 잔류응력의 영향을 고려해야 하나, 코너부에서는 콘크리트에 대한 구속효과가 어느 정도 발휘되어 콘크리트의 강도가 상승할 수 있는 여력이 있는 점과, 코너부의 면적이 강재의 전체 단면적에서 차지하는 비율이 크지 않아 항복응력까지 유효한 것으로 가정하여도 무리가 없는 것으로 판단하였다. 유효폭은 단면의 전체폭 (B) 이 아니라 직선부분(b)에만 적용하여 식 (2)로부터 산출하였다. 또한, 유효폭이 적용되는 구간에서의 강도는 그림 1에 나타낸 것과 같이 실제응력상태의 최대응력을 구해서 적용해야 하지만, Liang and Uy (2000)등이 가정한 것과 같이 단순히 항복응력까지 받을 수 있는 것으로 가정하였다. 이상으로부터, 폭두께비가 큰 각형 CFT 단주의 단면강도 산정에도 적용가능한 식을 다음 식 (5)과 같이 제안한다.

$$P_n = A_{sc} F_y + A_{se} F_y + 0.85 A_c f'_c \quad (5)$$

여기서, A<sub>sc</sub> : 강관 코너부의 단면적

A<sub>se</sub> : 평단부의 유효단면적 = 4tb<sub>e</sub>

A<sub>c</sub> : 콘크리트의 단면적

b<sub>e</sub> : 평단부의 유효폭 = 식(2)

## 4. 실험

### 4.1 CFT기둥의 설계내력 검증

본 연구에서 제안된 식 (5)의 적용가능성을 검토하기 위하여 CFT 단주에 대한 실험을 실행하였다. 실험 변수는 강관의 폭두께비(b/t)와 콘크리트의 강도로 총 4개의 시험체를 제작하였다. 강관의 두께(t)는 모두 6mm로 일정하며 코너부의 안쪽 반지름은 두께의 2배 (=12 mm)이다. 시험체의 길이(L)는 좌굴의 영향을 최소화하기 위하여 단면 폭(B)의 3.5배로 제작하였다. 강관과 콘크리트의 기계적 성질 등 각 시험체에 대한 사항은 표 3에 나타내었다.

표 3. 용접조립 각형 실험체 일람

실험체	B (mm)	b (mm)	t (mm)	b/t	L (mm)	F <sub>y</sub> (MPa)	f' <sub>c</sub> (MPa)
HSC-1	300	264	6	44	1,050	414	10
HSC-2	400	364	6	61	1,400	414	10
HSCS-3	300	264	6	44	1,050	369	40
HSCS-4	400	364	6	61	1,400	369	40

본 논문은 목적이 폭두께비가 큰 각형 CFT단주에도 적용가능한 설계식을 제안하는데 있으므로, 각 시험체의 간략적인 구조적 거동은 다음 그림5의 하중변위곡선으로 언급코자 하며, 실험체 세팅전경과 가력 종료 후 파괴형상은 그림4와 같다. 제안식의 타당성검토를 위해 AISC2005, KBC2005의 경우 비교결과로 표 4에 정리하였다.



a. 실험체 세팅전경



b. 강관의 좌굴파괴형상 c. 내부콘크리트의 파괴형상  
그림 4. 실험체 세팅전경 및 가력후 실험체 모드

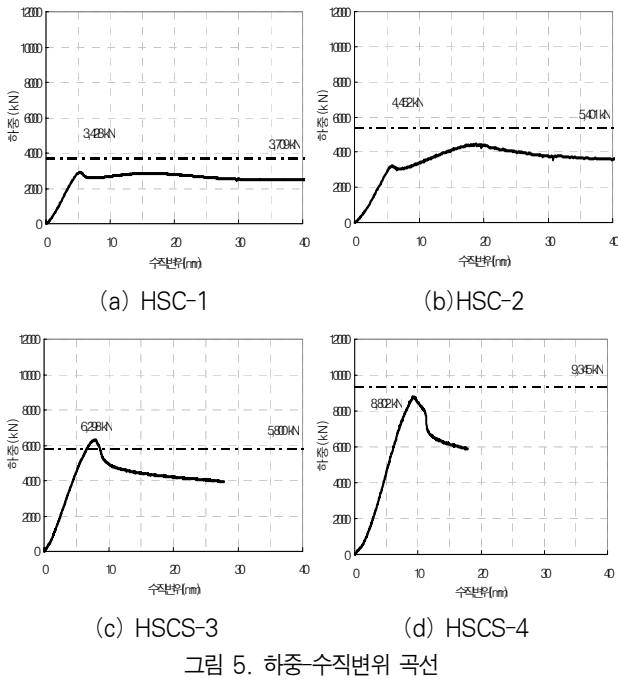


그림 5. 하중-수직변위 곡선

콘크리트 압축강도가 10MPa를 사용한 HSC-1(b/t:44), HSC-2(b/t:61)의 경우 압축항복강도 도달 이전에 면외좌굴이 발생하였으며 좌굴발생 후 약간의 포스트좌굴 강도가 나타났다. 콘크리트 압축강도 40MPa가 충전된 HSCS-3(b/t:44),

HSCS-4(b/t:61)의 경우 압축항복강도에 근접한 시점에서 강관면의 국부좌굴에 의해 강성과 내력이 급격히 떨어지는 현상을 나타내었다.

#### 4.2 제안식과 실험결과와 비교

본 연구에서 제안한 방법의 적용성을 검토하기 위하여 실험체를 대상으로 실험결과, AISC2005, KBC2005, 제안식 (5)에 의한 최대내력을 서로 비교하여 표 4에 나타내었다. 표 4에는 각 기준에서의 최대 폭두께비도 같이 나타내고 있으며, 시험체의 폭두께비가 각 기준에서 제시하는 한계폭두께비를 넘는 경우는 괄호를 사용하여 최대내력을 나타내었다.

표 4에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안한 방법과 실험치의 비가 평균 0.952로 좋은 대응을 보이고 있으며 표준편차나 변동성(cov)도 우수한 것으로 나타났다. 반면, KBC2005는 비교된 모델중에서 가장 큰 오차를 나타내고 있다. AISC2005의 경우, 실험치와의 평균비는 가장 우수하나 현 기준에서 제한된 폭두께비를 초과한 시험체에도 단순 적용하였고 그 결과

HSC-2의 시험체에서는 설계식이 상당히 과대평가 되었다. 폭두께비별 실험치 비에 대해 그림6에서 정리하였다.

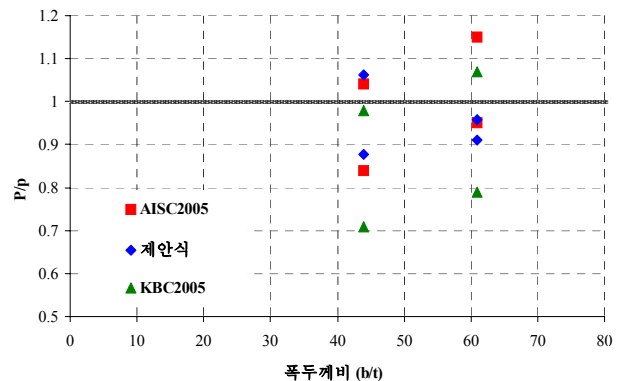


그림 6. 모살용점된 각형 CFT단주의 폭두께별 실험치 비

표 4. 제안식의 타당성 검토

실험체	b/t	F <sub>y</sub> (MPa)	f' <sub>c</sub> (MPa)	P <sub>test</sub> (kN)	AISC2005		KBC2005		제안식(7) (kN)	P <sub>A2005</sub> <sup>1)</sup> P <sub>Test</sub>	P <sub>K2005</sub> <sup>2)</sup> P <sub>Test</sub>	P <sub>식(7)</sub> P <sub>Test</sub>
					max b/t	P <sub>n</sub> (kN)	max b/t	P <sub>n</sub> (kN)				
HSC-1	44	414	10.3	3428	49.7	3560	38.6	(3365)	3638	1.04	(0.98)	1.06
HSC-2	61	414	10.3	4452	49.7	(5136)	38.6	(4776)	4270	(1.15)	(1.07)	0.96
HSCS-3	44	369	39.3	6,298	52.6	5274	40.9	(4492)	5525	0.84	(0.71)	0.88
HSCS-4	61	369	39.3	8,802	52.6	(8390)	40.9	(6969)	8020	(0.95)	(0.79)	0.91
									평균	0.996	(0.890)	0.952
									표준편차	0.116	(0.144)	0.069
									cov	0.116	(0.162)	0.073

1) PA2005: AISC 2005에 의한 최대하중  
2) PK2005: KBC 2005에 의한 최대하중

### 5. 제안식과 선행연구와 비교

#### 5.1 모살용접 정사각형 CFT 단주 검증

충진된 각형강관의 국부좌굴 효과를 고려하여 비선형 해석을 하기 위해 Uy(2005)는 총 23개의 해석연구를 수행하였다. 폭두께비(60, 80 그리고 100)와 콘크리트와 강재 내력강도를 변수로 하였고, 그중 본 제안식과 검토를 하기위해 6개의 실험체를 선정하였으며, 그 일람은 표5에 나타났으며 실험체 형상은 다음 그림 7과 같다.

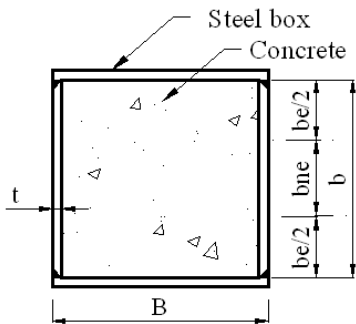


그림 7. 모살용접된 각형 CFT 기둥 실험체형상

표 5. 모살용접 정사각형 CFT단주 실험체 일람

실험체	B (mm)	b (mm)	t (mm)	b/t	Es (GPa)	Fy (MPa)	f'c (MPa)
NS-1	186	180	3	60	200	294	33.6
NS-7	246	240	3	80	200	292	40.6
NS-13	306	300	3	100	200	281	44
NS-14	306	300	3	100	200	281	47
NS-15	306	300	3	100	200	281	47
NS-16	306	300	3	100	200	281	47

모살용접된 플레이트 끝단은 두께만큼의 모서리부분(Ase)으로 최대 내력을 받는 가정하에 제안식에 적용하였다. 또한 AISC2005와 KBC2005 규정의 경우 다음 비교분석은 표 4와 같고 폭두께비별 무차원한 실험값에 대한 변위는 그림8와 같다. 전반적으로 AISC2005의 경우 원활한 대응을 보이고 있으나, 실험치보다 조금 높은 수치로 측정되는 것을 알 수 있었으며, KBC2005의 경우, 실험값에 비해 약30%의 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 제안한 내력식과 비교해 볼 때, 실험치의 비가 평균 0.92로 좋은 대응을 보였으며, 폭두께비가 초과 할수록 실험치 수치와 근사함을 알 수 있었다. 따라서 폭두께비와 상관없이 단주 CFT에 한해 본 연구에서 제안한 내력식에 대한 신뢰가 검증되었다.

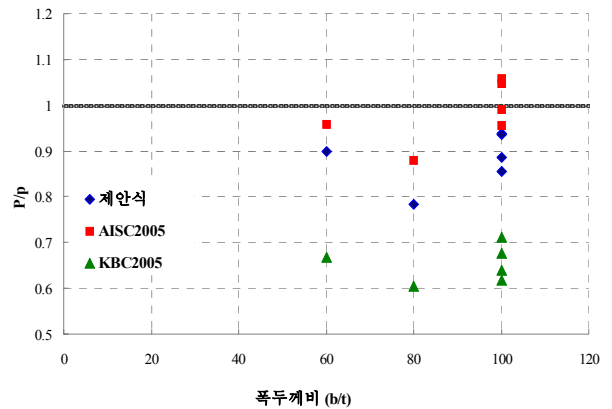


그림 8. 모살용접된 각형 CFT단주의 폭두께비 실험치 비

#### 5.2 한 변의 폭두께비를 초과하는 직사각형 CFT 단주 검증

고강도 콘크리트가 충진된 각형강관의 구속효과를 분석하기 위해 Dalin Liu(2005)는 직사각형과 정사각형의 압축내력 실험을 수행 하였다. 강관의 가로세로 비의 변수(H/B: 1, 1.3, 1.8, 2)와 고강도 콘크리트(f'c :55, 83, 106Mpa) 및 고강재( fy: 300, 495Mpa)를 사용하였으며, 연구데이터 중 한 변의 폭두께비가 초과한 두 실험체를 선정하여 본 연구에서 제안한 내력식에 검토하고자 한다. 검증한 실험체 일람은 표6에 나타났으며 실험체 형상은 다음 그림 9와 같다.

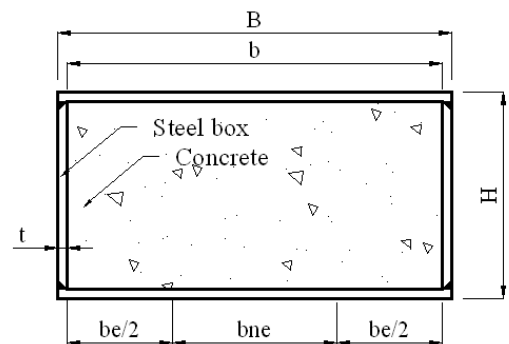


그림 9. 한변의 폭두께비가 초과한 직사각형 CFT 실험체형상

표 6. 모살용접 직사각형 CFT단주 실험체 일람

실험체	H (mm)	B (mm)	H/B	b (mm)	t (mm)	b/t	Fy (MPa)	f'c (MPa)
A14-1	100	190	1.82	182	4	45.5	495	55
A14-2	100	190	1.82	182	4	45.5	495	55

가로세로비(H/B)는 1.82인 약 두배 정도 차이가 나는 실험체로 긴면(B 190mm)을 중심으로 유효폭 개념을 도입하여 제안식에 적용하였다. KBC2005의 경우 앞서 비교되었듯이 실험치에 비해 전체적으로 과소평가가 되었음을 알 수 있었으며,



표 7. 선행 연구를 통한 제안식의 타당성 검토

실험체	b/t	F <sub>y</sub> (MPa)	f' <sub>c</sub> (MPa)	P <sub>test</sub> (kN)	AISC2005		KBC2005		제안식(7) (kN)	$\frac{P_{A2005}^{(1)}}{P_{Test}}$	$\frac{P_{K2005}^{(2)}}{P_{Test}}$	$\frac{P_{식(7)}}{P_{Test}}$
					max b/t	P <sub>n</sub> (kN)	max b/t	P <sub>n</sub> (kN)				
NS-1	60	294	33.6	1555	59	1489	45	1039	1397	0.95	0.67	0.89
NS-7	80	292	40.6	3095	59	2720	45	1870	2424	0.87	0.60	0.80
NS-13	100	281	44	4003	60	4234	46	2852	3760	1.06	0.71	0.93
NS-14	100	281	47	4253	60	4455	46	2874	3980	1.05	0.68	0.94
NS-15	100	281	47	4495	60	4455	46	2874	3980	0.99	0.64	0.89
NS-16	100	281	47	4658	60	4455	46	2874	3980	0.95	0.62	0.85
A14-1	45.5	495	55	2035	45	1833	35	1574	1964	0.90	0.77	0.97
A14-2	45.5	495	55	2138	45	1833	35	1574	1964	0.86	0.74	0.92
1) PA2005: AISC 2005에 의한 최대하중									평균	0.95	0.68	0.90
2) PK2005: KBC 2005에 의한 최대하중									표준편차	0.073	0.046	0.058
									cov	0.077	0.068	0.065

AISC2005와 제안식은 0.9이상의 좋은 대응을 보였지만, 제안식의 표준편차와 변동성을 볼때 가장 우수한 대응결과를 나타내었다. 폭두께비에 따른 실험치 변동은 그림10과 같다. 결과적으로 기존 선행연구의 데이터를 바탕으로 제안식의 검증은 다음 표7에서 정리하였다.

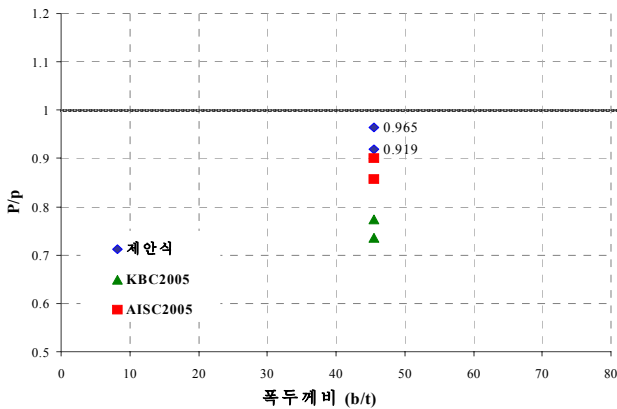


그림 10. 모살용접된 직사각형 CFT단주의 폭두께별 실험치 비

## 6. 결론 및 향후 연구

본 연구는 stiffened (양단이 지지된) 플레이트에서는 좌굴이 발생하더라도 바로 내력저하가 발생하지 않고 상당한 양의 좌굴후 강도를 발휘할 수 있다는 점을 착안, 유효폭 개념을 도입해서 폭두께비가 큰 각형 CFT의 강도를 계산할 수 있는 설계식을 제안하였다.

(1) 용접조립각형 강관의 경우 본 제안식의 유효폭 개념을

도입하여 AISC2005, KBC2005와 제안식을 실험결과와 비교한 결과, 본 논문에서 제안한 설계방법이 가장 좋은 대응을 보이고 있었고 이에 본 연구에서 제안한 식(5)를 각형CFT 단주의 내력산정시 폭두께비의 크기에 관계없이 적용할 수 있는 식으로 제안한다.

- (2) 모살용접된 정사각형 단주 CFT의 경우, 본 제안식과 검증할 실험체 6개를 선정하여 제안식과 비교 및 AISC2005, KBC2005와 분석해본 결과 실험치의 비가 평균 0.92로 원활한 대응을 보였으며, 폭두께비가 초과 할수록 실험치 수치와 근사함을 알 수 있었다. 따라서 유효폭(be) 선정에 있어서 모서리(Ase)부분을 플레이트 끝단에서 두께길이까지 최대 내력으로 가정하는 것이 큰 무리가 없다는 것을 알 수 있었다.
- (3) 고강도 콘크리트와 강재를 사용한 한 변만 폭두께비가 초과되는 직사각형 CFT 단주에 한해서 제안식과 비교해본 결과, 플레이트 구간을 유효폭 개념으로써 나뉘어 단면강도를 산정한 수치는 실험치에 평균 0.94로 근접한 결과를 알 수 있었다.
- (4) 전체적으로 실험체와 AISC2005, KBC2005의 비교분석은 다음과 같다. AISC2005의 경우 전체적인 평균값은 0.9로 가장 우수하나, 폭두께비를 초과하거나 고강재, 고강도 콘크리트를 사용한 실험체 평가에서는 과대 또는 과소평가로 인해 변동성을 보였다. KBC2005의 경우 전반적으로 모든 실험체 비에 상당한 과소평가를 보였다.

현재 AISC에서는 비합성구조의 경우 국부좌굴로 인한 강도저감을 나타내기 위해 감소계수(Q, Qa)를 사용하고 있다. 본

연구는 현재 CFT기둥에도 적용가능한 감소계수를 나타내기 위한 방법에 관한 연구를 진행중이다.

### 감사의 글

본 논문은 2008년 과학기술부의 국가지정 연구실 사업인 “초고층 구조시스템 선정 평가 기술 (Roa-2007-000-10047-0) 2차년도 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고 문헌

AISC(1999) *Manual of Steel Construction*, AISC, Chicago, USA

AISC(2005) *Steel Construction Manual*, Chicago, USA

Dalin L. and Wie, Min Gho(2005) Axial load behaviour of high strength rectangular concrete-filled steel tubular stub columns. *Thin-walled structures*, pp.1131-1142.

Ge, H.B. and Usami, T.(1992) Strength of concrete-filled thin-walled steel box columns: experiments. *Journal of Structural Engineering*, 118(11) pp.3036-3054.

Liang Q.Q., Uy B., and Liew, R. (2006), Nonlinear analysis of concrete-filled thin-walled steel box columns with local buckling effects. *Journal of construction steel research*, 62, pp.581-591.

Liang, Q.Q. and Uy, B.(1998) Parametric study on the structural behaviour of steel plates in concrete-filled fabricated thin-walled box columns. *Advances in Structural Engineering*, 2(1), pp.57-71.

Liang, Q.Q. and Uy, B.(2000) Theoretical study on the post-local buckling of steel plates in concrete-filled box columns. *Computers and Structures*, 75(5), pp.479-490.

Mursi, M. and Uy, B.(2003) Strength of concrete filled steel box columns incorporating interaction buckling. 129(5), pp.626-639.

Shanmugam, N.E. Lakshmi, B. Uy, B.(2002) An Analytical model for thin-walled steel box columns with concrete in-fill. *Engineering Structures*, pp.825-838.

Standards Australia(1999) *Steel Structures*, Sydney, Australia

Wright, H. D.(1995) Local stability of filled and encased steel sections. *Journal of Structural Engineering*, 121(10), pp.1382-1388.

Uy, B.(2000) Strength of concrete-filled steel box columns incorporating local buckling. *Journal of Structural Engineering*, 126(3), pp.341-52.

Uy, B. Bradford, M. A.(1995) Local buckling of thin steel plates in composite construction: Experimental and Theoretical study, *Proc., Inst. Civ. Eng. Struct. Build*, Vol. 110, pp.426-440.

Zhang, Y. Xu, C. and, Lu, X.(2006) HYSTERETIC BEHAVIOR OF CONCRETE FILLED THIN-WALLED STEEL TUBULAR COLUMNS, *Steel Construction*, Vol. 21, *Proceedings of 8th International Conference for ASCCS*, pp.202-208.

강구조의 설계(2009) 한국강구조학회, 구미서관.

김진호 전상우(1999) 콘크리트 충전강관 단주의 종국내력평가에 관한 실험적 연구. *한국강구조학회 논문집*, Vol. 11, No. 5, pp.495-506.

냉간성형강 구조설계기준 및 해설(1999) 대한건축학회.

이성희, 최영환, 염경수, 김진호, 최성모(2008) 용접조립 각형 CFT 단주의 구조특성에 관한 실험적 연구. *한국강구조학회 논문집*, Vol. 20, No. 5, pp.645-653.

(접수일자 : 2009. 7. 14 / 심사일 2009. 7. 16 / 게재확정일 2009. 10. 1)