



탄소섬유시트(CFRP Sheets)로 보강된 폭두께비가 큰 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 중심축하중거동

박재우¹ · 유정한^{2*}

¹과장, 한국시설안전공단, 시설안전연구소 ²교수, 서울과학기술대학교, 건축학부

Axial Loading Behaviors of Square Concrete-Filled Tubular Columns with Large Width-to-Thickness Ratio Retrofitted using Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets(CFRP Sheets)

Park, Jai Woo¹, Yoo, Jung Han^{2*}

¹Chief, Korea Infrastructure Safety Corporation, Research Division Goyang, 411-758, Korea

²Professor, School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 139-743, Korea

Abstract - This paper presents the experimental results of behavior of square CFT columns with large the width-to thickness ratio strengthened with carbon fiber reinforced polymers (CFRP) sheets subjected to concentrated axial loading. The main parameters were b/t ratio and the number of CFRP layers and 6 specimens were fabricated.. The values of b/t were ranged from 60 to 100. From the tests, Maximum increase of 16% was also achieved in axial-load capacity with three transverse layered CFRP applied on four sides of steel tubes. The load capacity decreased up to 41% comparing with nominal load capacity of unstrengthened CFT column. However, for CFRP strengthened CFT, the load capacity decreased up to 32%. Finally, from the load-strain relationships, the local buckling occurred before yield point of steel tubes. Also, from the load-strain relationships, it was observed that local buckling were delayed on CFT columns by CFRP sheets retrofitting.

Keywords - Carbon fiber sheet, CFRP, Concrete filled steel tube column, CFT, Retrofit

1. 서론

콘크리트 충전 강관기둥(Concrete-Filled Steel Tube Columns: 이하 CFT라 함)은 강관 내부에 콘크리트를 충전하여 두 개의 재료를 사용하여, 하나의 구조체처럼 거동하게 하는 합성기둥 구조시스템의 한 종류이다. CFT기둥은 구조적인 측면에서 콘크리트의 횡변위를 강관에 의해 구속시켜 3축 응력상태에 있게 하는 구속효과로 인해 강도와 연

성이 크게 개선된다. 시공적인 측면에서는 강관이 거푸집 대응으로 사용되기 때문에 공기단축 및 공사비 절감의 효과가 있다.

한편, 최근 건설 재료의 효율성을 극대화 시킬 수 있는 방안에 관심을 가지고 있는데, 강재의 고강도화에 따라 얇은 판재를 사용하는 것이 가능케 되었고, 이에 부응하여 얇은 강판을 사용한 CFT 기둥에 대한 연구가 진행되고 있다. Uy^[1]는 폭두께비 40~100까지의 단주 CFT기둥을 제작하여 중심축하중 실험을 수행하였다. 기존의 규준^{[2],[3]}에서는 CFT기둥은 국부좌굴로 인한 부재의 강도감소를 방지하기 위해 한계폭두께비를 설정하고 있는데 Uy^[1] 연구의 경우 일부 실험체는 규준^{[2],[3]}에서 정하는 한계폭두께비 이하의 실험체, 일부 실험체는 한계폭두께비 이상의 실험체이다. 이를 통해 판폭두께비가 커질수록 강관의 국부좌굴의 영향

Note.-Discussion open until December 31, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 18, 2013; revised May 21, 2014; approved on May 22, 2014.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-2-970-9015 Fax. +82-2-974-1480

E-mail. happyjh@seoultech.ac.kr

으로 내력이 감소함을 알 수 있었다. Choi^[4]는 현행 기준^{[2],[3]}에서 제시하는 제한치 이상의 판폭두께비를 지닌 폭두께비 60~100의 CFT단주 기둥을 제작하여 중심축하중 실험을 수행하였다. 중심축하중 실험을 통해 CFT기둥에서의 좌굴 후 내력의 상승을 확인하였고, 기존 기준^{[2],[3]}에서 제시한 폭두께비 제한치를 완화하는 제안식을 제시하였다.

재료의 고강도화 됨에 따라 자연스럽게 얇은 판의 강재를 사용할 수 있게 되었지만 얇은 판재의 사용은 국부좌굴에 취약할 수 있다는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 보완하고자 Fig. 1과 같이 국부좌굴을 제어하는 CFT기둥의 보강법에 대한 연구가 많은 연구자들^{[5],[6],[7],[8]}에 의해 수행되었다.

일반적으로 CFT기둥은 안쪽 방향으로 콘크리트로 인해 좌굴이 방지되어 기둥의 네 면이 바깥방향으로 좌굴이 발생하게 되는데 위 보강법을 사용하여 바깥방향으로 향하는 강관의 국부좌굴을 지연시킬 수 있게 된다. 그러나 이 방법들은 강관부위에 용접을 통하여 stiffener, shear stud, binding bar 등의 보강재를 설치해야 되기 때문에 시공성이 복잡하고, 용접열로 인해 모재에 영향이 미치게

된다. 또한 기 시공된 CFT기둥에서는 내부에 Fig. 1의 타입과 같은 보강재를 설치하는 것이 현실적으로 불가능하다.

기존의 연구내용^{[5],[6],[7],[8]}과는 달리 Park *et al.*^[9]는 탄소섬유시트(Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheet, 이하 CFRP시트)보강한 각형 CFT기둥에 대한 중심축하중 실험을 수행하였다. 이 연구에서 사용된 CFT기둥은 현행기준에서 폭두께비 제한치를 만족하는 폭두께비가 작은 ($b/t=20, 30, 40$) CFT기둥이다. 실험결과와 내력의 증가효과는 미비하였지만 연성능력이 개선된 것으로 확인되었다.

선행연구^{[5],[6],[7],[8]}와는 달리 본 연구에서는 폭두께비가 큰($b/t=60, 80, 100$) CFT기둥에 발생하는 국부좌굴의 단점을 해결하고자 복합신소재 재료인 CFRP시트를 보강재료로 사용하였다. CFRP시트를 에폭시를 사용해 강관 외부에 횡방향하여 보강하기 때문에 시공성이 간편하다. 또한 Fig. 2의 보강개념을 살펴보면 강관외부에 보강된 CFRP시트의 구속력으로 국부좌굴과 더불어 발생하는 강재의 횡방향 팽창을 지연시킬 수 있어 부재의 내력을 상승시키게 된다.

본 연구에서는 건축구조기준 (KBC 2009)^[2]과 미국 강구조설계기준(AISC LRFD 2005)^[3]에서 규정한 한계폭두께비 이상의 단면을 지닌 CFT기둥에 대한 CFRP시트의 보강효과를 검증하고자 실험을 계획하였다. 실험체에서 계획된 폭두께비($b/t=60, 80, 100$)이다. 이 계획된 단면은 최근 개정된 미국 강구조설계기준(AISC LRFD 2010)^[10]에서는 조밀단면과 비조밀 단면, 또한 그 이상에 각각 해당된다. 제작된 실험체 개수는 6개이며, CFRP시트의 보강효과를 검증하고자 강관표면에 횡방향으로 3겹 보강하여 중심축하중 실험을 통한 보강효과를 검증하였다.

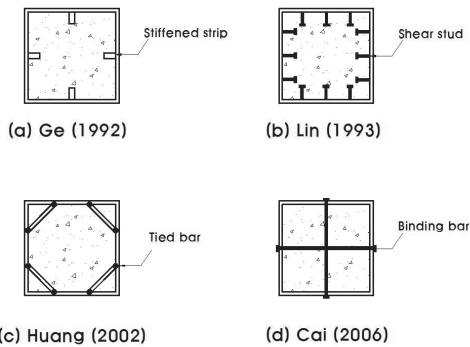


Fig. 1. Stiffener reinforced CFT section details

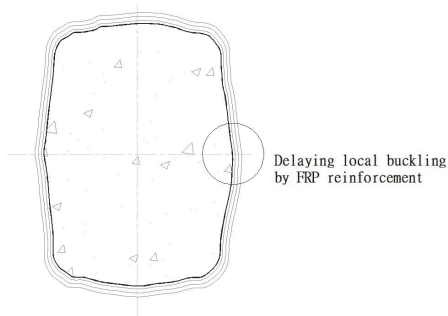


Fig. 2. The concept of local buckling delayed by CFRP sheets

2. 실험계획 및 계측계획

2.1 실험체제작

KBC 2009기준^[2]이나 미국강구조설계기준(2005)^[3]에서 제시하는 한계폭두께비 이상의 단면을 지닌 CFT기둥에 대한 CFRP시트의 보강효과를 검증하고자 실험체를 계획하였다. KBC 2009기준^[2]이나 미국강구조설계기준(2005)^[3]에서 제시하는 한계폭두께비는 Table 1에 정리하였다.

최근 개정된 미국강구조설계기준(2010)^[10]에서는 조밀, 비조밀, 세장판 단면으로 분류하여 강재를 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 개정하였으며, Table 2에서는 최근 개

정된 기준을 통해 단면을 분류하여 정리하였다. 실험체는 2.3mm 강판을 사용하여 ㄷ형으로 절곡 후 각형강관을 제작하였다. 강관제작시 얇은 강판을 사용해야 되기 때문에 용접열로 인한 변형을 최소화하기 위해 아르곤용접을 사용하였다. 두께 2.3mm 강판을 사용하여 기둥의 폭을 변화시켜가며 폭두께비 60, 80 실험체 4개를 제작하였다. 폭두께비 100 실험체는 2.3mm두께의 강판을 사용 시 폭이 230mm정도로 콘크리트가 차지하는 단면적이 확연히 증가하여 UTM 용량을 초과하게 된다. 따라서 본 연구에서는 폭두께비 100 실험체에서는 강판두께 1.6mm를 ㄷ형으로 절곡후 폭 160mm에 해당되는 강관을 제작하였다. 실험체의 길이는 전체좌굴의 영향이 없게 하기 위해 실험체 폭의 3배로 설정하여 stub column을 제작하였다. 2.3mm, 1.6mm 강판은 버니어캘리퍼스로 측정된 실제 강판의 두께는 2.2mm, 1.6mm로 측정되어 계획된 폭두께비와 실제 폭두께비는 각각 다르게 나타났으며, 이는 Table 2에 정리하였다.

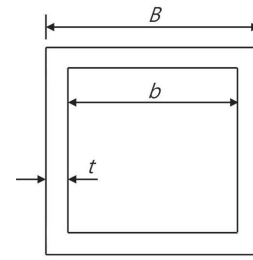


Fig. 3. Cross section

CFRP쉬트는 에폭시에 함침하여 강관전체에 걸쳐 횡방향으로 보강하였으며, 시방서^[11]에 의거하여 10일간 양생하였다. 변수별 실험체 계획은 Table 2에 정리하였다.

실험체에 대한 표기로는 예를 들어, SF60-3T에서 SF는 Square Filled 형상(박스충전형), 60은 판폭두께비(b/t)를 3T는 CFRP 3겹 보강을 의미한다.

2.2 재료시험

두께 1.6mm, 2.3mm 강판에 대한 재료시험^[12]결과는 Table 3에 정리하였고(단, 괄호 안의 치수는 실제치수임), CFRP쉬트에 대한 재료시험^[13]결과는 Table 4에 정리하였다. 제조사에서 제공한 에폭시 함침 전 CFRP쉬트 두께는 0.184mm/ply이며, 에폭시 함침 후 CFRP쉬트 시공두께는 0.5~1.0mm/ply이다. 내부 충전된 콘크리트의 설계강도는 21MPa이며, 28일 압축강도 측정 결과는 29.5MPa이다.

Table 1. limitation of width-to-thickness ratio for each specification

Specification		limitation of b/t
KBC	2005	$b/t = \sqrt{3E/F_y}$
	2009	$b/t = 2.26\sqrt{E/F_y}$
AISC	2005	$b/t = 2.26\sqrt{E/F_y}$
	2010	Compact section : $b/t = 2.26\sqrt{E/F_y}$ Non-Compact section: $b/t = 3.00\sqrt{E/F_y}$ (Maximum limitation : $5.00\sqrt{E/F_y}$)

Table 2. Test specimens plan

Specimen	size(mm) (B×B×t, mm)	b/t plan	b/t actual	Length (mm)	CFRP ply	KBC 2009	AISC 2010
SF60-0P	□-142.6×142.6×2.3	60	62.7	414	-	○	compact
SF60-3P	□-142.6×142.6×2.3	60	62.7	414	3	○	compact
SF80-0P	□-188.6×188.6×2.3	80	83.6	552	-	×	non compact
SF80-3P	□-188.6×188.6×2.3	80	83.6	552	3	×	non compact
SF100-0P	□-163.2×163.2×1.6	100	100.0	690	-	×	slender
SF100-3P	□-163.2×163.2×1.6	100	100.0	690	3	×	slender

* ○ within b/t limitation / × : over b/t limitation

Table 3. Material test results of steel plate

Thickness (mm)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	F_y/F_u	Elongation (%)	Elastic Modulus (GPa)
1.6 (1.6mm)	136	201	67.6	22.8	219
2.3 (2.2mm)	288	371	0.78	23.0	207

Table 4. Material test result of CFRP sheet

Thickness (mm)	Tensile Strength (MPa)	Strain at rupture	Elastic Modulus (GPa)
0.184	2696	0.015	179.7

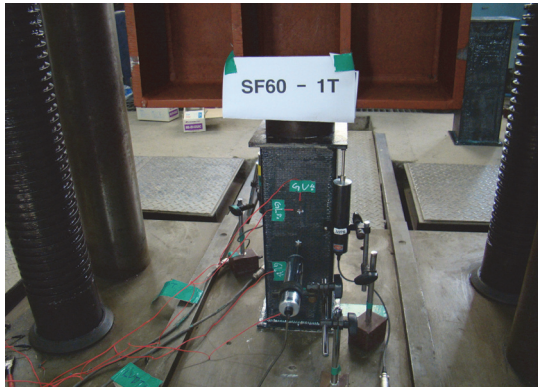


Fig. 4. Test setup (SF60-1T)

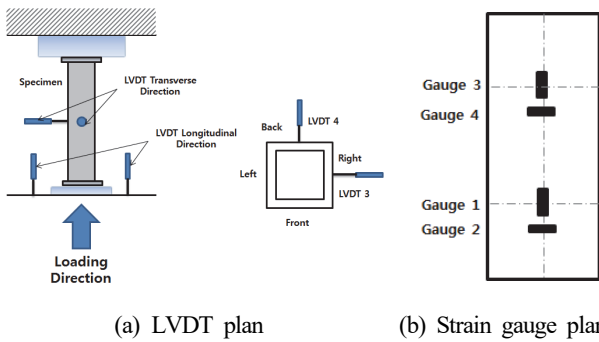


Fig. 5. Measurement plan

2.3 실험체 설치 및 계측계획

Fig. 4는 실험체 설치에 대한 사진이다. 중심축하중 실험을 수행하고자 2000kN급 만능시험기(UTM)를 이용하여 수행하였으며 시험체가 최대하중에 도달한 이후 최대내력의 80~60% 정도 내력이 저하될 때까지 가력하였다. 길이방향에 대한 변위값을 측정하기 위해 Fig. 5와 같이 만능시험기의 하부가력판 양 모서리에 2개의 LVDT를 설치하였으며 측변위는 2개의 수직 LVDT 측정값의 평균값으로 하였다.

또한 일반적으로 국부좌굴이 발생하는 위치를 정확히 예측하는 것은 현실적으로 불가능하나, 기존실험에서^[14] 참고한 결과 실험체 상하부 1/3지점에 국부좌굴이 발생할 것으로 예상되어, Fig. 5와 같이 실험체의 1/3지점과 2/3지점에 각각 길이방향과 횡방향으로 스트레인게이지를 각각 2개씩 총 4개를 설치하여 국부좌굴시점의 변형률을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험체 파괴과정

Fig. 6은 폭두께비 60실험체의 무보강실험체(SF60-0P)와 보강실험체(SF60-3P)의 파괴과정을 비교한 것이며, Fig. 7



0.46mm (630kN)



5mm (600kN)



final

(a) SF60-0P failure procedure



1.5mm (800kN)



2.5mm (900kN)

(b) SF60-3P failure procedure



final

Fig. 6. Specimen failure procedure



(a) SF100-0P (b) SF100-3P

Fig. 7. Final failure shape (SF100series)

은 SF100시리즈의 최종파괴전경이다. 실험체 모두 CFT기둥의 파괴모드와 같이 강관 네면이 바깥방향으로 국부좌굴이 발생하여 파괴되었다. Fig. 6과 같이 SF60-0P실험체는 축변위 0.46mm(하중 630kN)지점에서 실험체 상부부근에 국부좌굴이 발생하기 시작하며 파괴되었다. 최대내력점 이후 축변위 5mm(하중 600kN)지점에서 실험체 중앙에서 국부좌굴이 발생하였으며, 이후로는 상부 기 발생된 국부좌굴부위는 그 범위가 점차적으로 확대되며 실험체가 최종적으로 파괴되었다.

SF60-3P실험체는 축변위 1.5mm(하중 800kN)부근에

서 실험체 하부에 국부좌굴이 발생하기 시작했으며, 이후 기 발생된 하부부위 국부좌굴은 점차적으로 확대되어 최대내력점 이후 축변위 4mm(하중 900kN)지점에서 CFRP시트가 파단되는 과정을 보여주고 있다.

3.2 하중-변위 관계

Fig. 8은 본 실험에서 수행한 6개 실험체에 대한 하중-변위관계를 나타낸 것이다.

각 실험체는 폭두께비 별로 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 최대내력점 이전까지는 거의 하중이 선형적으로 증가하다가 최대내력 이후 하중이 완만하게 감소함을 알 수 있다.

각 실험체의 최대내력은 Table 5에 정리하였다. 또한 Table 5에는 실제 측정된 치수로부터 계산된 강재와 콘크리트의 단면적(A_s , A_c)가 정리되어 있으며, 이 단면적과 재료물성치 결과를 토대로 국부좌굴이 발생하지 않는다고 가정하여 산정한 단면강도 P_o 를 정리하였다. 여기서, P_o 는 무보강실험체에 대한 단면강도이며, 식 (1)에 의해 산정한다.

$$P_o = A_s F_y + 0.85 f_{ck} A_c \tag{1}$$

이를 통해 국부좌굴 발생으로 인한 내력저하율(P_{max}/P_o)을 계산하였으며, 판폭두께비가 큰 실험체 일수록 국부좌

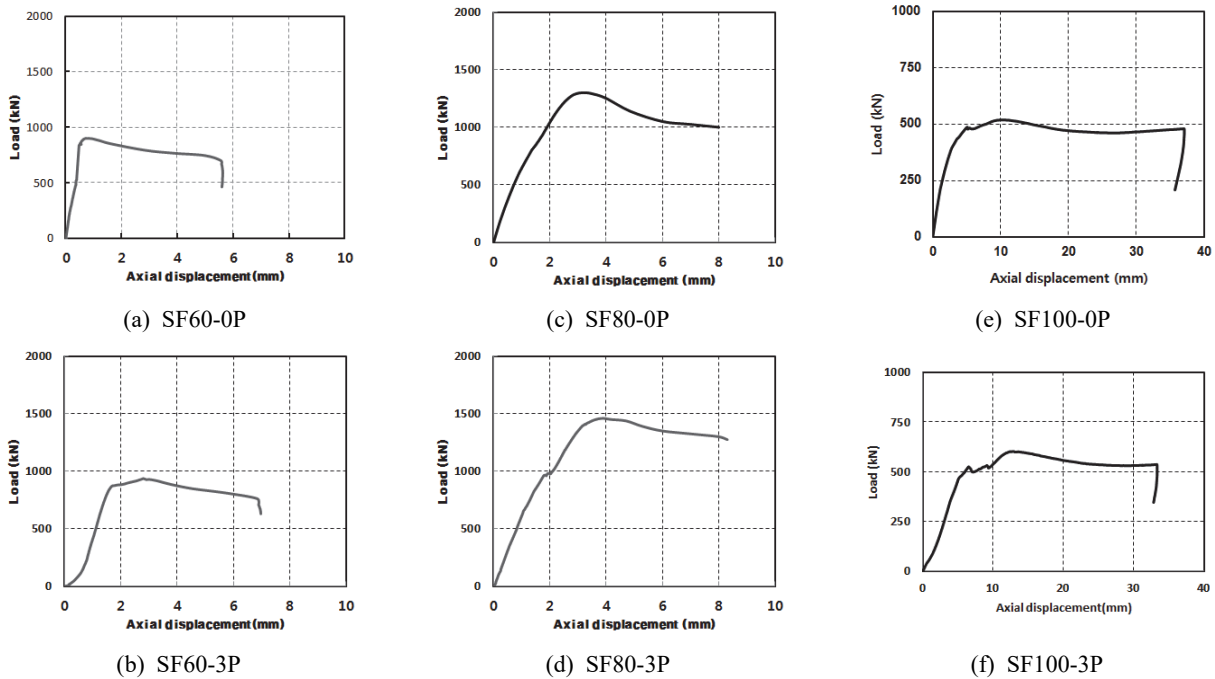


Fig. 8. Load-displacement relationship

Table 5. Test results

Specimen	As (mm ²)	Ac (mm ²)	P _{test} (kN)	P ₀ (kN)	$\frac{P_{test}}{P_0}$	Failure Mode at Max load
SF60-0P	1233	19044	900.0	917.1	0.99	local buckling
SF60-3P	1233	19044	936.5	917.1	1.02	local buckling
SF80-0P	1638	33856	1300.0	1470.7	0.88	local buckling
SF80-3P	1638	33856	1409.6	1470.7	0.96	local buckling
SF100-0P	1034	25600	518.6	883.1	0.59	local buckling
SF100-3P	1034	25600	600.6	883.1	0.68	local buckling

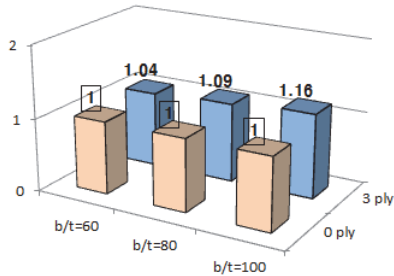


Fig. 9. Load capacity increase ratio

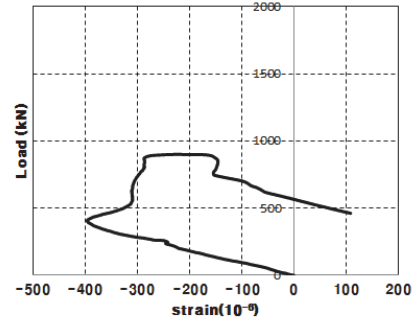
굴에 더 취약하여 내력저하율이 큰 것으로 나타났다.

Table 5의 실험결과 CFRP시트의 보강으로 최대내력은 각각 4%, 9%, 16% 상승하는 것으로 나타나서, 보강효과를 검증할 수 있었다. Fig. 9는 부재의 내력증가율을 도식화하여 나타낸 것인데, CFRP시트로 인한 내력상승율은 판폭두께비 100실험체에서 가장 높아, CFRP시트 보강은 국부좌굴에 가장 취약한 판폭두께비가 큰 CFT기둥에서 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

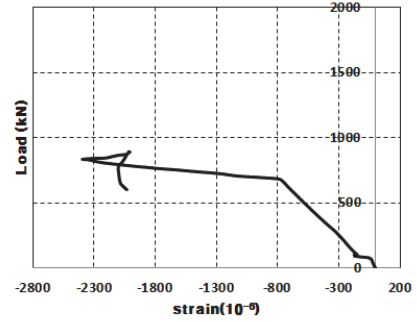
3.3 하중-변형을 관계

Fig. 10은 SF60시리즈(판폭두께비 60 실험체)의 하중-변형을 곡선을 나타낸 것이다.

위 결과값은 Fig. 5에서 스트레인게이지 1번(하부 길이 방향)에서 측정된 값으로 결과값이 음수가 나온 길이방향으로 압축을 받고 있음을 의미한다. Fig. 10(a)에서 SF60-0P실험체는 하중 약 400kN(변형율이 약 -400μ, ▲ 표시된 곳)되는 곳까지는 변형율이 계속적으로 증가함을 알 수



(a) Load-strain curves (SF60-0P)



(b) Load-strain curves (SF60-3P)

Fig. 10. Load-strain relationship

있다. 이후 변형율의 방향이 바뀌며 큰 변화를 보이고 있는데 이는 국부좌굴이 시작되었음을 의미한다. 그러나 국부좌굴이 발생한 이후로도 하중은 약 900kN까지 추가적인 내력이 상승함을 볼 수 있다. 이를 통해 좌굴이 발생한 이후에도 내력이 상승하는 좌굴후강도(post-buckling strength)가 발휘함을 알 수 있다.

Fig. 10(b) SF60-3P 실험체는 초기 탄성구간에서는 하중이 선형적으로 증가하다가 하중 약 750kN(변형율이 약 -800μ, ▲ 표시된 곳)되는 곳에서 국부좌굴이 감지됨을 알 수 있다. 그러나 SF60-0P실험체와는 달리 변형율이 약 800μ부분에서 국부좌굴이 발생하여 국부좌굴이 지연됨을 알 수 있으며 있었으며, 또한 좌굴 발생이후에도 내력은 상승하는 좌굴후강도(post-buckling strength)역시 발휘됨을 관찰할 수 있다.

3.4 폭두께비에 따른 내력감소율

국부좌굴로 인한 내력감소율을 평가하기 위해 실험결과 값 P_{test} 값에 국부좌굴이 발생하지 않는다고 가정한 단면강도 P₀값으로 나누어 무차원화 한 결과 값을 Fig. 11에 나타내었다.

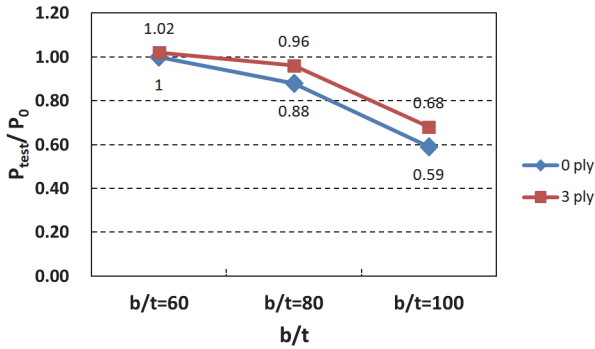


Fig. 11. Load capacity decrease ratio

Fig. 11에서 알 수 있듯이 판폭두께비가 작은 60 실험체에서는 국부좌굴의 영향을 거의 받지 않아 SF60-0P 실험체의 경우 식 (1)에서 구한 국부좌굴이 발생하지 않는다고 가정하여 산정한 부재강도 값(P_0)과 실험결과 값(P_{test})이 거의 상이하게 나타났다. 이를 통해 판폭두께비 60 실험체에서는 국부좌굴에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 이후 판폭두께비가 증가함에 따라 국부좌굴의 영향을 받아 실험결과 값은 식 (1)에서 구한 값보다 내력이 12%, 41% 저하됨을 알 수 있다. 이는 강재에 국부좌굴이 발생하여 부재의 강도가 저하됨을 의미한다. 따라서 본 연구에서 사용한 실험결과를 근거로 할 때 판폭두께비 80 실험체부터는 국부좌굴이 발생하여 내력이 저하됨을 알 수 있다. 특히 판폭두께비 100 실험체는 60이나 80 실험체군보다 더욱 현저히 내력이 감소됨을 알 수 있는데 이는 2.3mm보다 작은 1.6mm의 강판을 사용하여 상대적으로 강재량이 작고 이로 인해 내력저하가 현저히 나타난 것으로 판단된다. Fig. 11에서 점선은 CFRP쉬트로 보강된 실험체에 대한 $\frac{P_{test}}{P_0}$ 값이다. 그림에서 알 수 있듯이 내력저하율은 각각 4%, 32%로서 무보강실험체 값보다 무차원화 한 값이 증가됨을 알 수 있다. 특히 판폭두께비 80 실험체의 경우 CFRP쉬트의 보강을 통해 P_0 의 값과 P_{test} 의 값이 거의 상이하여 국부좌굴의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 3종류의 판폭두께비(60, 80, 100)를 지닌 판폭두께비가 큰 각형강관 CFT단주 실험체에 CFRP쉬트를 횡방향으로 보강하여 실험체 6개를 제작하였고, 중심압축실험을 수행하였다. 실험으로부터 도출한 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험체 파괴모드는 무보강실험체, 보강실험체 모두 강관의 네면이 바깥 방향으로 튀어나오는 국부좌굴모드를 관찰할 수 있었으며, 보강실험체는 강관의 국부좌굴의 확장과 더불어 CFRP 쉬트가 파단 되는 파괴모드를 보이고 있다.
- (2) KBC 2009, AISC 2005 규준에서 제시하는 판폭두께비 제한치 이상의 단면을 지닌 각형 CFT 기둥에 대해 CFRP쉬트를 횡방향으로 보강하고 중심축하중실험을 수행하였다. 실험결과 무보강실험체는 판폭두께비 80 실험체부터 국부좌굴의 영향으로 내력이 저하됨을 관찰할 수 있다. 그러나 CFRP쉬트 보강을 통해 내력을 4%, 9%, 16% (판폭두께비 60, 80, 100 순서) 상승시켜 보강효과를 검증할 수 있었다. 또한 내력상승율은 판폭두께비 100 실험체가 가장 높아 CFRP쉬트 보강은 판폭두께비가 큰 CFT기둥에서 효과적임을 알 수 있었다.
- (3) 하중-변형률 관계를 살펴보면 하중초기 구간에서는 거의 선형적으로 증가하다가 국부좌굴발생시점 이후 하중-변형률의 기울기 혹은 방향이 바뀔 수 있다. 하중-변형률 관계곡선에서 CFRP쉬트의 보강을 통해 국부좌굴을 지연시킴을 관찰하였으며, 좌굴발생시점 이후 내력이 계속적으로 상승하여 좌굴후강도(post-buckling strength)가 발휘됨을 관찰하였다.
- (4) 국부좌굴이 발생하지 않는다고 가정된 부재의 강도와 실험결과 값을 근거로 무차원화하여 내력저하율을 분석하였다. 분석결과 판폭두께비가 증가함에 따라 국부좌굴의 영향을 받아 무보강실험체 판폭두께비 80, 100 실험체에서 내력이 12%, 41% 저하되었다. 그러나 CFRP쉬트 보강을 통해 각각 4%, 32%의 내력이 저하되어 무보강실험체에 비해 내력저하가 덜 됨을 관찰하여 CFRP쉬트의 보강효과를 검증할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌(References)

[1] Uy, B. (1998) Local and Post-Local Buckling of Concrete Filled Steel Welded Box Columns, *Journal of Construc-*

- tional Steel Research*, Elsevier, Vol.47, pp.47-72.
- [2] 대한건축학회(2009) 건축구조기준 (KBC 2009) 및 해설, 기문당.
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code (KBC 2009) and Commentary*, KimoonDang, Korea (in Korean).
- [3] American Institute of Steel Construction (2005) *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-05), USA.
- [4] 최영환(2012) 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 폭두께비 제한에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제4호, pp.451-458.
Choi, Y.H. (2012) Limitations on the Width-to-Thickness Ratio of Rectangular Concrete-Filled Tubular (CFT) Columns, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.4, pp.451-458 (in Korean).
- [5] Ge, H., and Usami, T. (1992) Strength of Concrete-Filled Thin-Walled Steel Box Columns: Experiment, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.118, No.11, pp.3036-3054.
- [6] 林草英, 黃建銘, 陳璽字(1993) 鋼管混凝土柱單向偏心載重之結構行為, 中國土木水利工程學刊, 中國土木水利工程學會, 第5卷, 第4期, pp.377-386.
Lin, C.-Y., Huang, C.M., and Chen, H.-T. (1993) Concrete-Filled Tubular Steel Columns Subjected to Eccentric Axial Load, *Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*, CICHE, Vol.5, No.4, pp.377-386 (in Chinese).
- [7] Huang, C.S., Yeh, Y.-K., Liu, G.-Y., and Hu, H.-T. (2002) Axial Load Behavior of Stiffened Concrete-Filled Steel Columns, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.128, No.9, pp.1222-1230.
- [8] Cai, J., and He, Z.-Q. (2006) Axial Load Behavior of Square CFT Stub Column with Binding Bars, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.62, No.5, pp.472-483.
- [9] 박재우, 홍영균, 홍기섭, 이성희, 최성모(2009) 탄소섬유шит로 구속된 콘크리트충전 각형강관기둥의 단조압축실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제21권, 제3호, pp.311-320.
Park, J.W., Hong, Y.K., Hong, G.S., Lee, S.H., and Choi, S.M. (2009) The Experimental Study on Axial Loaded Concrete Filled Steel Tube Confined by Carbon Fiber Sheet, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.21, No.3, pp.311-320 (in Korean).
- [10] American Institute of Steel Construction (2010) *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-10), USA.
- [11] 한국구조물진단유지관리학회(2006) 한국구조물진단공학, 구미서관.
Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection (2006) *Korea Structural Maintenance and Inspection Engineering*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [12] 국가기술표준원(2007) 금속재료 인장시험편(KS B 0801: 2007).
Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [13] American Society for Testing and Materials (2008) *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composites* (ASTM D3039/D3039M-08), USA.
- [14] 박재우, 최선규, 최성모, 송동엽, 유정환(2012) 탄소섬유шит(CFRP Sheets)로 보강된 세장한 각형강관기둥의 중심축하중실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제6호, pp.735-742.
Park, J.W., Choi, S.K., Choi, S.M., Song, D.Y., and Yoo, J.H. (2012) Concentrated Axial Loading Test for Slender Square Hollow Section Retrofitted by Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets (CFRP Sheets), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.6, pp.735-742 (in Korean).

요 약 : 본 연구에서는 콘크리트 충전 각형강관 (CFTP) 단주기둥에 CFRP 쉬트를 횡방향으로 보강하고 중심축하중 실험을 수행하였다. 실험변수는 b/t, CFRP쉬트 보강겹수이며, 총 6개의 실험체가 제작되었다. 실험변수로 사용된 판폭두께비는 b/t는 60, 80, 100이고 CFRP쉬트는 3겹 보강하였다. 실험결과 판폭두께비 100 실험체에서 CFRP쉬트 3겹 보강을 통해 내력을 16% 상승시켜 보강효과를 검증하였다. 내력 저하율을 검토한 결과 국부좌굴이 발생하지 않는 단면강도를 기준으로 최대 41%정도 내력이 저하되었으나, CFRP보강을 통해 32% 정도의 내력이 저하되어 보강효과를 검증할 수 있었다. 하중-변형을 관계를 보면 강재는 항복강도 이전에 국부좌굴이 발생하였으며, CFRP쉬트의 보강을 통해 국부좌굴을 지연시킴을 확인하였다.

핵심용어 : 탄소섬유шит, CFRP, 콘크리트충전강관기둥, CFT, 보수보강