Journal of Korean Society of Steel Construction

Vol.33, No.5, pp.327-335, October, 2021

Check for updates ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054 DOI https://doi.org/10.7781/kjoss.2021.33.5.327

소형 각형충전강관에서 볼트형 전단연결재의 하중전달 능력

김철환 $^{1} \cdot$ 윤일로 $^{2} \cdot$ 채원탁 $^{3*} \cdot$ 장석현 4

¹교수, 경북대학교 건축학부, ²교수, 경북대학교 건설방재공학부, ³박사과정, 경북대학교 건축공학과, ⁴석사과정, 경북대학교 건축공학과

Load Transfer Capacity of Bolt Type Shear Connectors for Small Sized CFT Member

Kim, Cheol Hwan¹, Yun, Il Lo², Chae, Won Tak^{3*}, Jang, Seok Hyeon⁴

¹Professor, School of Architecture, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea
²Professor, School of Disaster Prevention and Environmental Engineering, Kyungpook National University, Sangju, 37224, Korea
³Graduate Student (Doctor Course), School of Architecture, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea
⁴Graduate Student (Master Course), School of Architecture, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

Abstract - The typical stud anchors used for composite members cannot be use to small sized concrete filled steel tube (hereinafter to CFTs) due to difficulties in welding. Therefore, a new typed shear connector using bolts that can have weldability even with such a small sized CFTs was proposed and experimentally studied in this paper. The structural performances, shear strength, and behaviors of newly proposed shear connector was verified by experiment which showed higher capacity than that of Korean Design Standard. The new typed shear connector could be efficiently applied to construction fields using samll sized CFTs. **Keywords** - Bolt type shear connector, Stud anchor, Shear strength, Failure mode, Small sized CFT member

1.서론

합성구조물은 일반적으로 강재와 콘크리트로 이루어진 구조물로서, 2가지 재료를 일체화하여 거동하도록 하는 것 을 기본 개념으로 하고 있다. 따라서, 2가지 재료 사이에 발 생하는 전단력을 충분히 전달하여 재료가 일체화되어 높은 내하능력을 가지도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 현행 건 축구조기준(KDS 41)에서는 축력을 받는 합성기둥에 있어 서 일정 구간 내에 하중 전달장치를 설치하도록 규정^{[1],[2]}하 고 있다. 이는 강재나 콘크리트 또는 두 재료에 동시에 작용 하는 하중에 대해 원활하게 거동하는 것을 목적으로 규정 되어 있다.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction *Corresponding author.

Tel. +82-53-950-8543 Fax. +82-53-950-6590 E-mail.cwtak@hanmail.net 한편, 최근에는 공간 활용의 효율성을 위하여 공간의 대 형화가 진행되어왔다. 이러한 대형 공간구조물에는 재료의 경량화와 더불어 높은 강성을 유지하기 위하여 입체트러스 구조물이나 일방향 트러스 구조물이 적용되는 경우가 많다. 그러나 트러스 구조물은 기본적으로 부재에 휨모멘트는 발 생하지 않고 축력만 발생하고 있으나, 트러스의 단부에서는 사재에 높은 축력이 작용함으로 인하여 좌굴의 위험을 가지 고 있어 큰 단면의 부재를 설치하게 된다. 이러한 대공간 구 조물에 있어서 경제성을 확보하고 트러스 단부에 작용하는 큰 축력에 저항하기 위하여 내부에 고강도 무수축 모르타르 를 충전한 구조형식(이하 CFT)이 제안되어 적용되고 있다.

단부에만 적용하는 CFT구조물에 있어서도 현행 건축구 조기준에서 정한 일정 구간을 하중 전달영역으로 하여 강재 와 충전재 사이에 발생하는 전단력을 전달할 수 있는 기계적 장치가 필요하다. 그러나 트러스 구조물의 단부에 적용하는 충전형 합성부재는 직경이 200 mm 이내인 구조물로서 스 터드 커넥터형 강재 앵커를 강관 내부에 설치하기 어려울 뿐만 아니라 설치 후에도 강재앵커의 용접 결함을 확인하기 어려운 경우가 많다. 따라서 이러한 작은 단면의 합성구조

Note.-Discussion open until April 30, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 23, 2021; revised on September 26, 2021; approved on October 06, 2021.

물에 적용가능한 방법으로 강관에 볼트 구멍을 만들어 외부 에서 볼트를 삽입한 후 외부의 볼트 머리를 강관에 용접접 합하여 전단력을 전달하는 새로운 방법을 제안하였으며, 이 의 현장적용을 위해 구조적 특성을 규명할 필요성이 제기되 었다. 특히 볼트를 외부에서 삽입하여 설치하는 경우에는 기 존의 스터드 앵커와 같은 뽑힘하중에 저항할 수 있는 머리 가 부착되어 있지 않음으로 인한 문제가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 작은 단면에 적용 가능한 전 단연결장치로서 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 외부에서 삽입 하여 용접 접합한 전단연결재를 대상으로 실험을 수행하여 강도 및 변형 특성을 규명하고 위에서 언급한 뽑힘에 대한 문제 등을 실험과 해석을 통해 규명하여 금후 설계를 위한 기본자료로 제공하고자 한다.



(a) CFT member in truss structure

2. 실험계획

2.1 실험체 계획

실험체 일람은 Table 1에 나타내며 실험체 형상 및 상세 는 Fig. 2에서 나타낸다. 실험 변수는 기본적으로 새로운 형 식의 전단연결재의 내력 규명하기 위하여 계획하였으며, 이 를 위하여 각형강관 단면에 볼트 구멍을 뚫어 외부에서 설 치한 볼트형 전단연결재 실험체와 기존의 스터드 앵커를 각 형강관의 내부에 설치한 실험체로 계획하였다. 또한, 전단 연결재의 순수 전단내력을 확인하기 위하여 강관 내부에 오 일을 도포하여 충전재와 강관과의 부착강도를 제거한 실험 체와 오일을 도포하지 않은 실험체로 구분하였다.



(b) CFT member



<Front view>





550

250

150

<Cross-sectional view>

200

200 0



□-150×150×6.0

(b) CFT specimen (bolt connector)

150



(d) CFT specimen (stud anchor)

(a) H-type specimen (bolt connector) 150



<Front view>

(c) H-type specimen (stud anchor)



Fig. 1. CFT member in spatial truss



CFT 내부에 충전하는 충전재는 유동성이 좋은 50 MPa 급의 고강도·무수축 모르타르를 사용하였으며, 전단연결재 의 전단 가력을 위하여 Fig. 2에서와 같이 상부에는 충전재 단면이 50 mm 높게 제작하였으며, 하부에는 강관이 50 mm 길게 실험체를 제작하여 상부의 충전재 단면에 하중을 가함 으로서 전단연결재에 전단이 발생하도록 제작하였다.

실험에 사용된 전단연결재는 직경이 강관 두께의 2.5배 이하로 규정되어 있어, 스터드 앵커의 경우에는 직경 Ø13, $L = 50 \text{ mm를 사용하였다. 볼트형 앵커는 직경이 12 mm인$ M12 고력볼트를 사용하였고 길이는 스터드 앵커와 동일한50 mm를 사용하였다. 특히 전단연결재의 길이는 합성기둥에 있어서 직경의 5배 이상으로 규정되어 있으나, 설치 작업의 어려움 등으로 길이는 50 mm를 사용하였으며, 길이 차이에 따른 평가는 추후 추가 실험과 해석으로 진행할 예정이다. 또한, 스터드 앵커와 볼트는 스터드의 웰딩 건으로 접합이 불가능하여 CO₂ 용접으로 접합하였으며, 축경의 전단내력보다 용접부의 강도가 크도록 용접량을 결정하였다.

2.2 설치 및 측정

실험체는 Fig. 3에서와 같이 600 kN 용량의 만능재료시 험기(UTM)에실험체를 설치하고, 실험체 상단에 핀 지그를

Table 1. Test specimens

설치하여 편심이 발생하지 않도록 조치하였으며, 충전재를 가력하여 실험체가 파단 또는 최대하중을 받을 때까지 하중 을 가하였다. 가력속도는 2 mm/min이고, 40 mm까지 변위 제어로 push-out 실험을 실시하고 하중 및 변위 등의 실험결 과를 데이터 로거를 사용하여 취득하였다.



Fig. 3. Specimens set up

2.3 재료시험

실험에 사용된 강재 및 충전재 등의 재료 특성은 Table 2 와 같다. 각형강관은 □-150×150×6.0에서 강재는 SS275급 을 사용하였으며, 새로운 형식의 전단연결재로 사용한 고력

No.	Specimens name		C:	Shear co	Unit	Demeder		
			Size	Diameter (mm)	Length (mm)	(EA)	Kemarks	
1	H-type	H-S13	H-250×250×9.0×14	Ø13	50	2	Stud anchor	
2		H-B12		M12		2	Bolt connector	
3	CFT	B12-B	- - □-150×150×6.0 -	M12	50	2	Bolt connector	Bonded [*]
4		B12-U				2		Unbonded**
5		S13-B		Ø13		2	Stud anchor	Bonded
6		S13-U				2		Unbonded

^{*}Unbonded: a specimen that removes adhesion between steel tube and filled mortar by applying oil inside the steel tube ^{**}Bonded: a specimen that has adhesion between steel tube and filled mortar because oil is not applied inside the steel tube

No.	Division	Thickness (mm)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Yield ratio (%)	Elongation (%)	Remarks
1	SPSR (steel tube)	5.89	392.6	471.2	0.83	36.2	SS275
2	Bolt (M12)	11.88	940.0	1,040.0	0.90	-	F10T
3	Stud (Ø13)	12.64	474.3	492.4	0.96	20.5	SS275
4	Mortar	$f_{ck} = 50.8 \text{ MPa}$					Non-shrinkage mortar

Table 2. Mechanical properties of materials

볼트는 F10T급으로 M12(이하 B12)를, 스터드 앵커는 SS275 급의 직경 Ø13(이하 S13)을 사용하였으며, 볼트와 스터드 앵커의 길이는 50 mm를 사용하였다. 내부에 충전한 충전재 는 50 MPa급의 고강도 무수축 모르타르를 사용하였다.

재료시험은 한국공업규격의 금속재료 인장시험편(KSB 0801)에 따라 제작하였으며, KSB 0802에서 규정하는 실험 방법에 준하여 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 하중-변위 관계

3.1.1 전단연결재의 기본전단실험

볼트 전단연결재와 스터드 앵커의 기본 전단내력은 Fig.4 에 나타낸다. 기본 전단실험은 일반적인 전단연결재의 전단 내력을 실험하는 것으로 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 H형강 에 전단연결재를 부착하여 충전재를 타설한 후 push-out 실 험한 것을 나타낸다. 실험결과는 전단연결재 하나에 대한 전단강도를 나타내고 있으며, 수평파선은 건축구조기준에 의한 전단연결재의 전단강도를 나타내고 있다. 스터드 앵커 (S13)와 고강도 볼트 전단연결재(B12)는 기본적인 이력거 동이 유사하게 나타나고 있으나, 최대 하중점의 변위는 머 리가 부착된 스터드 앵커가 크게 나타나고 있으며, 변형능 력도 크게 나타나고 있다. 이는 스터드 앵커의 경우에는 머 리가 붙은 형태로서 전단변형 이후 뽑힘하중에 저항하여 나 타나는 것으로 판단된다. 스터드 앵커를 필릿용접으로 강관 에 부착하여 실험을 진행하였으나, 그림에서와 같이 최대강 도는 두 종류의 전단연결재 모두 건축기준의 스터드 앵커에 대한 전단내력을 상회하고 있음을 알 수 있다.





3.1.2 CFT 전단연결재 실험

Fig. 2와 같이 CFT 각형강관 내부의 좌우에 각각 1개씩 부 착하여 전체 2개의 전단연결재를 설치하여 push-out 실험을 수행하였으며, 실험결과는 Fig. 5에 나타내고 있다. Fig. 5(a) 는 각형강관 내부에 오일을 도포하지 않아 강관과 충전재 면과의 마찰력을 가지는 실험체인 bonded 실험체의 결과를 나타내고 있다. 그림 중에서 수평파선은 건축구조기준에 의 한 전단연결재의 전단강도를 나타내고 있다. 실험결과 볼트 전단연결재를 사용한 실험체(B12)가 스터드 앵커(S13)를 사 용한 실험체의 경우보다 최대하중 및 최대하중 점의 변위 등에 있어서는 높게 나타나고 있으며, 2종류의 전단연결재 모두 건축기준에 의한 강도를 상회하고 있다.

각형강관 내부에 오일을 도포하여 전단연결재의 순수한 전단강도 및 이력거동을 규명하기 위한 Fig. 5(b) 실험에 있 어서도 초기 강성은 스터드 앵커를 사용한 실험체가 높게 나타나고 있으나, 최대전단내력 및 최대하중점의 변위 등에 있어서는 볼트 커넥터를 사용한 실험체가 높게 나타나고 있 다. 이는 스터드 앵커의 경우 축경이 13 mm로서 볼트형 커 넥터 12 mm보다 크므로 전단강성이 높아 초기에 변형은 적 게 나타나고 있으나, 변형이 용접부에 집중되어 작용하게 됨 에 따라 조기에 용접부의 파단이 발생한 것으로 판단된다. 따라서 웰딩 건으로 용접이 불가능한 CFT부재에서의 스터 드 앵커의 용접에 대한 연구가 필요하다. 볼트 전단연결재의 경우에는 강관의 외부에서 볼트 머리부를 용접접합하여 강 관과 충전재와의 전단하중은 볼트의 축경에 작용하게 되므 로 높은 전단강도와 더불어 큰 변형이 발생하게 되는 것으 로 판단된다.

Fig. 6(a), Fig. 6(b)는 볼트 커넥트를 사용한 실험체와 스 터드 앵커를 사용한 각 실험체의 부착강도 유무에 따른 내 력 및 변형을 비교하여 나타내고 있다. 그림 중의 수평파선은 건축구조 기준에 의한 강관과 충전재 사이의 부착강도를 나 타내고 있다. 부착강도를 가지는 bonded 실험체(B12-B, S13-B)의 경우 부착강도가 없는 unbonded 실험체(B12-U, S13-U)에 비하여 기준에 의한 각형강관의 부착강도 전후의 높은 값을 나타내고 있어, 부착강도가 전단내력에 일정부분 기여하고 있음을 알 수 있다.

3.2 파괴양상

모든 실험체들은 파단 또는 최대하중 이후 내력의 저하 가 발생할 때까지 하중을 가하여 전단실험을 실시하였으며, CFT실험체의 경우에는 모든 실험체가 최대변위 40 mm까 지 변위제어로 내력실험을 실시하였으며, 대부분의 실험체 가 전단연결재의 파단으로 실험이 종료되었다. 실험종료 후 실험체의 일례는 Fig. 6(a)에 나타내고 있다. S13 실험체에서 스터드 접합부 강관표면에 미세한 국부변형(점선부)이 발 생한 것을 확인할 수 있었다. B12 실험체들도 하중 증가와 더불어 변형이 진행되었으며, 최종적으로는 강관과 볼트 접 합부에서 큰 변형과 더불어 볼트 축경의 전단파괴로 종국에 도달하였다. 실험 후 볼트부의 절단면은 Fig. 7(b)에 나타냈 다. 그림에서 점선으로 나타낸 것은 볼트 전단 연결재의 실 험전의 위치를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 모든 변형 이 볼트와 강관의 접합부위에 집중적으로 발생하고 있으며, 볼트의 뽑힙현상은 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 이러 한 결과는 후술하는 해석결과에서도 확인되고 있다.



Fig. 5. Comparison of test results in stud anchors and bolt connectors







(a) Overall failure mode



(b) Deformation of bolt connector

Fig. 7. Failure mode

3.3 최대내력

실험결과는 Table 3에 나타내고 있다. 표 중에서 나타내 는 전단력은 부착된 전단연결재 하나에 대한 전단강도를 나 타내고 있으며, 현행 건축구조기준에 의한 전단강도 및 유 로코드에 의한 전단강도를 포함하여 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 모든 실험체가 구조기준에 의한 전단강도를 1.6배 이상 상회하고 있으며, 특히 고강도 볼트 전단연결재 의 경우에는 구조기준의 스터드 앵커의 전단내력 산정식에 의한 내력의 1.84배 이상 높은 값을 나타내고 있어 고강도볼 트의 전단력 전달능력은 충분히 가지고 있음을 알 수 있다.

최대강도시 변위에 있어서는 고강도 볼트를 이용한 실험 체의 경우가 스터드 앵커를 이용한 실험체에 비해 2.5배 전 후의 변형을 나타내고 있다. 이는 전술한 것과 같이 전단연 결재의 변형이 강관과의 용접부에 집중되어 있기 때문이다.

초기강성은 S13-U 실험체가 가장 높은 65.9 kN/mm을 나 타내고 있으며, B12-B 및 S13-B는 48 kN/mm - 53 kN/mm 정도로 유사하게 나타나며, B12-U가 34.1 kN/mm로 가장 낮 은 수치를 나타내고 있으나, 전반적으로 큰 차이는 없다고 판단된다. 이는 볼트형 전단연결재의 경우, 충전재 내부에 헤드가 없음으로 인해 조기에 충전재와 분리가 발생하여 강 성이 크게 저하될 것으로 판단하였으나, 충전재가 외부의 강관으로 인해 구속되어 있어 충전재와의 조기 분리현상은

Table 3. Results of experiment

나타나지 않음을 의미한다. 이는 CFT 기둥이 콘크리트가 강 재 외부에 설치된 SRC 기둥과는 달리 콘크리트의 박리에 의한 콘파괴가 나타나지 않기 때문으로 판단된다.

최대하중은 B12-B 실험체가 약 168.0 kN으로 가장 높게, B12-U와 S13-U 실험체가 약 131 kN - 135 kN으로 가장 낮 게 나타났으며, 최대하중시의 변위는 스터드 앵커의 경우에 는 8.6 mm 전후로 나타났고, 볼트 전단연결재의 경우에는 21.1 mm 이상의 변위를 나타내었다. 이는 전술한 바와 같이 스터드 앵커의 경우 용접부를 필릿 용접함에 의해 접합부가 조기에 파단되는 것으로 판단되나, 볼트 전단연결재의 경우 에는 볼트의 축이 파단에 도달할 때까지 저항하고 있기 때 문으로 판단된다.

4. 유한요소해석

4.1 해석계획

실험의 정확한 분석 및 예측을 위하여 유한요소해석 프로 그램(ANSYS Workbench Ver. 12)을 이용하여 실험체를 모 델링하고 구조해석을 수행하였다.

Fig. 8에서는 해석모델링을 나타내고 구조해석을 위해 필 요한 재료의 기계적 특성은 Table 2에 나타낸 재료시험 결 과를 사용하였다.

		V		4				
T	ype	(kN/mm)	Experiment	KDS-41 [*]	Eurocode 4**	Experiment /KDS-41	(mm)	
H-type	B12	51.3, 45.4	81.8, 83.0 (82.4)	71.10	83.62	1.16	3.2, 3.1 (3.2)	
	S13	26.9, 51.4	92.7, 86.3 (89.5)	80.99	40.08	1.11	8.2, 5.3 (6.8)	
	B12-B	44.2, 52.1	154.0, 181.9 (168.0)	71.10	83.62	2.36	27.0, 20.5 (23.7)	
CET	B12-U	35.2, 33.1	123.4, 138.5 (131.0)	71.10	83.62	1.84	17.5, 24.7 (21.1)	
CFI	S13-B	57.1, 48.9	150.2, 146.2 (148.2)	80.99	40.08	1.83	8.4, 8.9 (8.6)	
	S13-U	68.5, 63.4	137.9, 132.7 (135.3)	80.99	40.08	1.67	8.7, 8.7 (8.7)	

 K_{st} : initial stiffness, P_{max} : shear strength of a connector, Δ_{max} : displacement at maximum strength, Numbers in parentheses: average of results

*KDS-41:
$$Q_n = 0.5A_{sa} \sqrt{f_{ck}E_c} \le R_g R_p A_{sa} F_u$$

**Eurocode 4: $P_u = \min(0.8f_u(\frac{\pi d^2}{4})\gamma_v'\frac{0.29\alpha d^2\sqrt{f_c E_{cm}}}{\gamma_v})$



Fig. 8. Modeling of specimen

4.1.1 경계조건 설정

Fig. 8에서 소개한 볼트형 전단연결재를 적용한 CFT 실 험체와 스터드 앵커를 적용한 CFT 실험체의 전단내력에 관 한 해석을 위해서는 강재와 충전재, 전단연결재의 접촉 조 건은 아래와 같이 설정하였다.

볼트형 전단연결재를 적용한 모델의 경우 충전재와 강재, 충전재와 볼트형 전단연결재의 경우에는 두 접촉면에 대해 서 frictional을 사용하여 마찰계수를 입력하는 비선형 접촉 정의를 사용하였으며, 강재와 볼트형 전단연결재의 접촉면 설정에는 용접 또는 완전 접착과 같은 접촉 상태를 나타내 는 bonded 접촉 상태를 사용하였다.

스터드 앵커를 적용한 모델의 경우 볼트형 전단연결재를 적용한 모델과 동일하게 충전재와 접촉하는 면에 대해서 frictional을 사용하였으며, 강재와 스터드 앵커의 접촉면 설 정에는 스터드 앵커의 round면과 강재의 접촉면은 bonded 로 용접 상태를 나타내는 접촉 상태로 circle면과 강재의 접 촉면은 frictionless와 유사하나 분리 상태도 가능하며 접촉 면의 마찰계수가 무한대로 sliding이 전혀 없는 비선형 접촉 상태로 설정하였다.

4.1.2 마찰계수

충전재와 강재, 전단연결재의 접촉설정에서 사용한 frictional에 실험에 사용한 마찰계수값을 설정하기 위해^[10] 마 찰계수값을 변경하면서 B12-B 모델에 40 mm의 변위제어 를 적용하여 하중-변위 관계를 비교하였으며, 그 결과 해석 에 필요한 마찰계수값은 0.15로 설정하여 해석하였으며 실 험결과와 가장 유사한 값을 확인할 수 있었다.

4.2 해석결과 및 분석

Fig. 9에서는 실험값과 해석결괏값의 하중-변위관계를 비 교하여 나타내고 있다. 볼트 전단연결재인 B12-B 실험체는 평균값이 336 kN이었으나, 해석 결과 약 359 kN의 최대 내 력을 나타내었으며, 스터드 앵커 실험체인 S13-B의 경우에 는 최대 내력은 실험결과 약 296 kN, 해석 결과 약 337 kN을 나타내어, 실험과 해석결과의 차이는 10% 전후로 잘 추적 하고 있다. 그러나, 실험 시에 나타난 스터드 앵커 용접부의 파단에 의한 내력의 조기 저하현상이 해석에서는 나타나지 않고 높은 변형능력을 나타내고 있어 소형강관 내부에 설치 하는 스터드 앵커의 용접에 대해 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

4.3 실험체의 파괴모드



Fig. 10에서는 각 실험체의 파괴상태를 해석적으로 확인 하고 있다. 앞에서 설명한 것과 같이 각 실험체에 있어서 하

Fig. 9. Comparison of results in experiment and analysis

중이 진행됨에 따라 변형은 강관과 전단연결재의 접합면에 집중하여 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 CFT 강관 내 부에서는 내부 충전재가 강관에 의해 구속되어 있어 전단연 결재에는 뽑힘하중이 크게 발생하지 않아 볼트형 전단연결 재를 사용해도 하중전달능력에 문제가 없음을 알 수 있다.



Fig. 10(a) M12볼트 타입의 경우 실험과 동일하게 가력을 진행하였을 때 볼트의 파단 없이 최종변위 40 mm까지 충분 한 소성변형을 나타내고 있으며, Fig. 10(b)의 스터드 앵커 가 설치된 실험체의 경우에는 스터드 앵커와 강재의 접합부 에서 하중의 증가와 더불어 강관의 국부변형이 발생하여 최 대하중에 도달하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본실험에서는 작은 단면의 CFT 부재에 적용가능한 새로 운 형식의 전단연결재로서 강관의 외부에서 구멍을 뚫어 볼 트를 삽입한 후 외부에서 용접하는 전단연결재 설치방법을 제안하고 구조적 특성을 실험과 해석을 통하여 규명하였으 며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) CFT부재에 적용한 볼트 전단연결재의 경우, 전단강 도가 구조기준에서 제시한 스터드 앵커의 전단연결 재의 강도에 비해 84% - 136% 상회하는 높은 하중 전달능력을 나타내었으며, 최대하중시의 변형도 크 게 나타났다.

- (2) CFT부재의 하중전달기구로서 스터드 앵커를 필릿 용접한 경우 구조기준(KDS 41)에서 제시된 스터드 앵커의 전단강도에 비해 67%-83% 상회하였으나, 조기에 접합부의 파단이 발생하여 강관 내부에 설치 하는 스터드 앵커의 용접부에 대한 연구가 필요하다.
- (3) CFT부재에서는 전단연결재의 변형이 강관과의 접 합부에 집중하여 나타나고 있으며, 내부 충전재가 강 관에 의해 구속되고 있어 뽑힘에 의한 영향은 거의 나타나지 않고 있다.
- (4) 작은 단면의 CFT에 적용 가능한 새로운 형식의 볼트 형 전단연결재의 경우, 충분한 하중 전달 능력을 가지 고 있으며 구조기준의 스터드 앵커의 내력 산정식에 따라 평가가 가능하여 금후 현장 적용이 가능하다고 판단된다.
- (5) 본 연구는 대공간 트러스에 사용하는 소형강관에 무 수축 모르타르를 충전한 구조 형식에 대한 실험연구 로서 금후 타 구조형식에 적용 시에는 추가적인 연구 가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 ㈜CNS이엔지의 연구비지원에 의해 수행되었습 니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) Korean Building Code for Steel Structures (KDS 41 30 00: 2019), Korea (in Korean).
- [2] KSSC, and The Korean Structural Engineers Association (2019) *Design Manual of Composite Structures*, Goomiseoguan, Korea (in Korean).
- [3] Lee, M.-K., Shin, K.-J., Lee, J.-S., and Chae, I.-S. (2019) Push-out Test on Evaluation of Shear Strength Using Angle Shear Connectors, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.6, pp. 413-421 (in Korean).
- [4] Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Choi, J.G. (2015)

Flexural Capacity of the Composite Beam Using Angle as a Shear Connector, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.1, pp.63-75 (in Korean).

- [5] Choi, I.R., Kim, Y.H., Jung, S.J., and Lee, J.H. (2019) Push-out Test for U-Tube Flange H-Beam with Z-Bar Anchors, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31 No.6, pp.423-434 (in Korean).
- [6] Wang, N., Lee, H.L., and Lee, M.J. (2017) Bond Strength Between Concrete and Steel and Shear Behavior of Shear Connectors of H-Shaped Steel Encased Composite Columns, *Journal of Korean Society* of Steel Construction, KSSC, Vol.29, No.5, pp.377-387 (in Korean).
- [7] Choi, Y.H., Kim, S.B., Ryu, D.S., and Kim, S.S. (2019) Structural Performance Evaluation of Square-Shape Steel Column with Shear Connectors, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.3, pp.141-150. (in Korean).
- [8] Fakury, R.H., Caldas, R.B., Almeida, P.H.F., and Araujo, A.H.M. (2012) *Tubular Structures XIV*, Analysis of the Load Transfer in Composite Column with Concrete Filled Hollow Sections-Bolts as Load Transfer Devices, CRC Press, UK, pp.227-232.

- [9] De Nardin, S., and El Debs, A.L.H.C. (2007) Shear Transfer Mechanisms in Composite Columns: An Experimental Study, *Steel and Composite Structures*, Techno-Press, Vol.7, No.5, pp.377-390.
- [10] Min, J., Jung, I.-K., Shim, C.-S., and Chung, Y.-S. (2005) Experiments on the Composite Action of Steel Encased Composite Column, *Journal of the Korean Concrete Institute*, KCI, Vol.17, No.3, pp.393-400 (in Korean).
- [11] Woo, H.S., Kim, J.H., and Choi, S.M. (2002) An Experimental Study on the Bond Strengths for Concrete Filled Steel Tube Columns Using a Push-out Test, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.14, No.4, pp.481-487 (in Korean).
- [12] Park, S.M., Kim, S.S., Kim W.H., Lee, H.S., Lee, K.S., and Song, J.G. (2001) A Experimental Study About an Effect of Shear-Connector at a Bond Stress in Concrete Filled Rectangular Tubular Column, *Proceedings of the Annual Conference of Korea Concrete Institute*, KCI, pp.561-566 (in Korean).
- [13] Lee, K-S. (2002) An Experimental Study about an Effect of Shear-Connector at a Bond Stress in Concrete Filled Rectangular Tubular Column, Master's Thesis, Chongju University, Korea (in Korean).

요 약: 합성구조에는 콘크리트와 강재 사이에 발생하는 전단력을 전달하기 위하여 스터드 앵커를 사용해 왔다. 그러나 이러한 스 터드 앵커는 작은 단면의 콘크리트 충전 강관 내부에는 용접의 어려움으로 인해 적용하기에 어려움이 있다. 본 연구에서는 CFT부재에 서의 전단연결재로서 새로운 형태의 볼트형 하중전달기구를 제안하고 구조적 특성인 내력, 거동을 실험적으로 규명하였다. 실험에는 콘크리트와 강관과의 부착강도 유무를 주된 변수로 하였으며, 비교를 위하여 기존의 스터드 앵커를 동일하게 실험하였다. 그 결과 건축 구조기준에 의한 전단강도를 크게 상회하는 능력을 나타내었으며, 새로운 형태의 전단연결재가 현장적용에 가능함을 규명하였다.

핵심용어 : 볼트형 전단연결재, 스터드 앵커, 전단강도, 파괴모드, 소형 충전각형강관