콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 제작방법에 따른 구조성능평가

Structural Performance Evaluation of CFT Columns with Built-up Square-shaped Steel Tubes using Production Methods

김우석* · 김상섭** · 김성배*** · 최영한****

Kim, U Seok*, Kim, Sang Seup**, Kim, Sung Bae***, and Choi, Young Han****

Abstract

This study obtained compression test results and macro examination results for concrete-filled steel tube (CFT) columns with built-up square-shaped steel tubes to evaluate both the structural performance and the possibility of using the current CFT design for changes in production methods. The CFT columns have three variables, namely, welding details, welding types, and steel bar types, of which welding details are the main variable. The compression test results were compared with the nominal compressive strength, P_n , based on the material test results and complete joint penetration (CJP). The test results indicated that the ratio of the experimental maximum load to the theoretical calculation result was between 1.04 and 1.12 (1.08 on average). This means that it is possible to use the current CFT design in the current Building Structure Standards (KBC 2016, KDS 41 31 00). The macro examination results indicated that the quality of welding will be improved owing to the minimization of defects during welding if the groove angle is improved to 50° .

Key words : Built-up Square-shaped Steel Tube Columns, CFT Columns, Compression Test, Welding Details, Stub Columns

요 지

본 연구에서는 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 제작방법에 따른 구조성능평가 및 용접부상세와 용접량의 차이에 따른 기존 설계식의 적용가능 여부를 평가하기 위하여 단주 압축가력실험과 매크로시험을 실시하였다. 변수는 용접부상세, 용접방법, 철근의 종류이다. 용접부상세에 의한 구조성능을 평가하기 위하여 그루브용접을 기준으로 소재시험결과를 적용한 공칭압축강도(P_n)를 산정하였다. 실험결과, 공칭압축강도에 대한 최대하중의 비(P_{test}/P_n)는 1.04~1.12의 범위이고, 평균 1.08로 나타났다. 용접부상세와 용접방법에 의한 차이와 관계없이 현재 건축구조기준(KBC 2016, KDS 41 31 00)의 충전형 합성기둥 공칭강도 산정식을 적용하면, 공칭강도는 적합하게 평가되는 것으로 판단된다. 매크로시험결과, 개선각도를 50° 로 상향하여 관리하면 용입부족을 최소화하여 용접부의 품질이 향상될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 용접 각형강관기둥, 콘크리트충전 합성기둥, 압축실험, 용접부상세, 단주

1. 서 론

최근 세계는 아시아를 중심으로 초고층 건축물들이 들어 서고 있으며(CTBUH, 2020), 국내에서도 초고층 건축물에 대한 설계와 시공이 계속 진행되고 있다. 초고층 건축물은

작용하는 축하중이 크게 증가하여 기둥을 중심으로 합성구조를 적용해야 하며, 이러한 필요에 의해 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Tao et al., 2005; Lee et al., 2015; Oh et al., 2017; Eom et al., 2019).

합성기둥은 H형강을 이용한 철골철근콘크리트의 매입형

*정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 석사과정(E-mail: archi1813@gmail.com)

Member, Master's Course, Department of Architectural Engineering, KOREATECH

**정회원, 한국기술교육대학교 디자인·건축공학부 교수(E-mail: kimss@koreatech.ac.kr)

Member, Professor, School of Design & Architectural Engineering, KOREATECH

***정회원, (주)더나은구조엔지니어링 소장, 공학박사(E-mail: withksb@hanmail.net)

Member, Doctor of Engineering, Director, The Naeun Structural Engineering

****교신저자, 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과 박사과정(Tel: +82-41-560-1330, Fax: +82-41-560-1224, E-mail: dudgks0123@koreatech.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Doctor's Course, Department of Architectural Engineering, KOREATECH

합성기둥(Steel Reinforced Concrete, 이하 SRC)과 강관을 이용한 충전형 합성기둥(Concrete Filled Steel Tube, 이하 CFT)으로 구분된다. 그러나 SRC기둥의 경우 거푸집공사로 인한 공사기간 증대와 인건비 상승으로 인하여 최근 국내에서는 자재비가 다소 상승하더라도 콘크리트충전 합성기둥의 적용사례가 증가하고 있다.

CFT 기둥은 원형 또는 각형강관 내부에 콘크리트를 타설하여 강관이 콘크리트를 구속하게 함으로써 강관이 거푸집 역할을 함과 동시에 강재와 콘크리트의 일체화 거동을 통해 구조물의 강성, 내력, 시공성 등의 측면에서 우수한 성능을 발휘 한다. 그러나 충전형과 매입형 합성기둥에 외력이 축방향으로 가해질 경우 부재로의 힘 도입과 부재 안에서 길이방향 전단력 전달을 위해 KBC 2016 (AIK, 2016) 0709.6과 KDS 41 31 00 (2019)에서는 강재앵커를 설치하도록 하고 있다. 이러한 구조기준의 적용으로 강재앵커에 관한 연구는 꾸준히 이루어지고 있다(Choi et al., 2019).

콘크리트충전기둥은 형상에 따라 각형강관과 원형강관으로 구분되며, 각형강관 제작방법은 판재를 절곡하여 제작하는 조관 각형강관, 판재를 절단 후 용접하여 제작하는 용접 각형강관으로 구분할 수 있다. 조관 각형강관의 경우 생산되는 강관의 사이즈가 한정되어, 현장 적용성이 저하되므로 최근에는 콘크리트충전 용접 각형강관기둥을 적용한 사례가 증가하고 있다. 용접 각형강관기둥은 판재를 절단 후 사면의 코너부를 용접하는 방법으로 제작하는데, 용접상세에 따라 구조성능의 차이를 보일 것으로 판단된다. 반면, 용접 각형강관 기둥의 용접상세에 따른 구조성능 평가는 아직 연구가 미진한 상태이다.

현재 강재앵커가 내부에 설치된 용접 각형강관기둥(일명 D-Column)에 대해 강재앵커의 성능평가를 실시하였고(Choi et al., 2019), 본 연구는 이에 대한 후속연구로 제작방법 중 코너부 용접상세를 변수로 단주 압축가력실험을 통해 제작방법이 기둥의 성능에 미치는 영향을 확인하였다. 또한 용접부 상세와 용접량에 따른 기존 설계식의 적용가능 여부를 검토하였다.

2. 연구계획

본 연구에서는 제작방법에 따른 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 구조성능 평가 및 용접부 상세와 용접량에 의한 기존 설계식의 적용가능 여부를 검토하기 위해 단주 압축강도실험과 실험체를 기준으로 한 용접부 매크로시험을 실시하였다.

2.1 용접 각형강관기둥의 압축강도실험 계획

Table 1은 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 실험체 계획이며, 7개의 실험체를 제작하였다. 실험체 변수는 용접부상세, 용접방법, 전단연결재로 사용되는 철근의 형상이며,

용접부상세를 주요 변수로 하여 실험체를 제작하였다. 실험체명은 변수에 따라 Fig. 1과 같이 구분하였다.

Table 1. The Parameter of Test Specimens

No.	Specimen	Welding Detail	Welding Type	Bar Type	Material
1	C1F-D1-1	CJP groove welding	FCAW	D25 Deformed bars	Steel: SM355
2	C1F-D1-2				
3	P1F-D1	2/3 PJP groove welding	GMAW	D25 Pipe	Concrete: 24 MPa
4	P1G-D1				
5	P1F-D2	1/2 PJP groove welding	FCAW	D25 Deformed bars	
6	P2F-D1-1				
7	P2F-D1-2

Fig. 1. Specimens Name

Fig. 2는 1번 C1F-D1-1 실험체의 도면이며, Fig. 2(a)는 평면 상세이고, Fig. 2(b)는 단면 상세이다. 그 외의 실험체들은 1번 C1F-D1-1 실험체와 재료특성, 크기는 동일하며 변수만 다르게 하여 제작하였다. 실험체에 사용된 각형강관은 SM355, 판두께 12 mm의 강재를 사용하였고, 250 × 250 × 1,300 (mm, 가로 × 세로 × 길이)의 크기로 기둥을 제작하였다. 강재앵커는 이형철근과 파이프를 기둥의 4면 중 서로 바라보는 2면에 대칭으로 용접하였고, 중앙을 중심으로 250 mm의 일정한 간격으로 총 6개를 설치하였다. 기둥 제작과정에서 콘크리트 타설을 위해 상부 플레이트 중앙에 지름 200 mm의 구멍을 천공하였다. 콘크리트충전 용접 각형강관 기둥의 구조제하를 만족하기 위해 강관의 단면적은 총 단면적의 1% 이상으로 하였으며, 폭두께비는 콤팩트 단면으로 제작하였다(KSSC, 2016, 2018).

Fig. 3은 용접부상세에 대한 세부사항이며, 실험체의 주요 변수이다. 각각 그루브용접(CJP), 판두께 2/3를 개선한 부분 용입용접(2/3 PJP), 판두께 1/2을 개선한 부분용입용접(1/2 PJP)으로 구분하였다. 여기서 그루브용접은 Complete Joint Penetration (CJP)로 용착금속을 강재의 전 두께에 대해 용입시키는 용접방법이고, 부분용입용접은 Partial Joint Penetration (PJP)로 용착금속을 강재의 일부 두께에 대해 용입시키는 용접방법이다.

3. 용접 각형강관기둥의 압축강도실험 결과

3.1 소재시험결과

콘크리트충전 용접 각형강관기둥 실험체 제작에 사용된 콘크리트와 강재의 소재시험을 실시하였다. 콘크리트의 경우 소재특성 파악을 위해 9개의 공시체를 제작한 후 KS F 2405 「콘크리트의 압축 강도 시험 방법」에 따라 압축강도 시험을 실시하였다. 강재, 철근, 파이프의 경우 각각 3개의 인장시편을 제작한 후 KS B 0802 「금속 재료 인장 시험 방법」에 따라 인장시험을 실시하였다.

시험결과는 Tables 2, 3과 같으며, 시험결과를 평균값으로 정리하였다. 시험결과 콘크리트 압축강도는 계획한 설계기준강도 대비 10% 강도가 증가하였다. 기둥에 사용한 SM355 강재는 한국산업표준(KS D 3515, 2018)을 만족하였으며, 강재앵커로 사용한 SD500 철근도 한국산업표준(KS D 3504, 2019)을 만족하였다. 또한 파이프의 경우 HSA650의 고강도 강을 적용한 파이프를 사용하였으나, 고강도강재를 적용하여 제작한 파이프의 한국산업표준(KS)은 아직 미비한 상태이다.

Table 2. Material (Concrete) Test Result of the Column

Design Compressive Strength	Test Compressive Strength
24.0 MPa	26.4 MPa

3.2 기둥 압축강도 실험결과

Table 4는 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 압축강도 실험결과를 최대하중(P_{test}), 최대하중에서의 최대변위(δ_{test}), 공칭압축강도(P_n), 공칭압축강도에 대한 최대하중의 비(P_{test}/P_n), 하중-변위 그래프의 전체 면적인 에너지 소산능력(E)으로 정리하였다. 이 중 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 공칭압축강도(P_n)는 KBC 2016에 따라 산정하였으나, KBC 2016에는 용접부상세에 따른 변수가 반영되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 그루브용접으로 제작한 콘크리트충전 용접 각형강관기둥 대비 2/3 부분용입용접, 1/2 부분용입용접으로 제작한 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 구조성능을 평가하고, 용접부상세와 용접량의 차이에 따른 기존 설계식의 적용가능 여부를 평가하였다. 또한 공칭압축강도는 소재시험결과를 적용하여 산정하였다.

Table 3. Material (Steel, Rebar) Test Result of the Column

Division		Yield Strenght (MPa)	Tensile Strenght (MPa)	Elongation (%)	Modulus of Elasticity (MPa)
Steel, 12 mm (SM355)	Test	390.2	553.6	24.8	202,805
	KS	355 and above	490~630	17 and above	-
D25 Rebar	Test	642.3	772.3	21.7	220,051
	KS	500~650	1.08 times the yield strength and above	12 and above	-
D25 Pipe	Test	840.9	880.6	9.8	246,635

Table 4. The Column Test Results

No.	Specimens	P_{test} (kN)	δ_{test} (mm)	P_n (kN)	$\frac{P_{test}}{P_n}$	E (kN · mm)
1	C1F-D1-1	6,199.7	23.3	5,523.7	1.12	248,306
2	C1F-D1-2	6,125.7	35.7		1.11	273,209
3	P1F-D1	5,762.6	7.5		1.04	135,139
4	P1G-D1	5,718.2	19.2		1.04	139,238
5	P1F-D2	5,857.6	14.3		1.06	155,307
6	P2F-D1-1	6,200.3	11.4		1.12	157,209
7	P2F-D1-2	6,083.8	10.1		1.10	142,497

P_{test} : Maximum Test Load

δ_{test} : Displacement at the Maximum Test Load

P_n : Nominal Compressive Strength based on Material Test Results

E : Energy Dissipation Capability

콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 공칭압축강도(P_n)는 기둥의 세장비에 따른 휨좌굴 한계상태로부터 Eqs. (1), (2)를 적용하여 산정하며, 세장비를 고려하지 않은 압축강도(P_{no})는 Eqs. (3)~(5)와 같이 폭두께비에 따라 콤팩트(조밀)단면, 비콤팩트(비조밀)단면, 세장단면으로 구분한다(AIK, 2016; KSSC, 2018). Table 4에서 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 공칭압축강도(P_n)는 Eq. (1)을 적용하여 산정하였고, 세장비를 고려하지 않은 압축강도(P_{no})는 콤팩트 단면으로 제작하여, Eq. (3)을 적용하였다. Eq. (3)에서 강재와 콘크리트의 내력 분담비율은 강재 약 79.5%, 콘크리트 약 20.5%이다. 본 연구에서 이형철근 및 파이프는 전단연결재로 사용되어 공칭압축강도의 산정에는 반영하지 않았다.

1) P_n 산정

① $P_{no}/P_e \leq 2.25$ 인 경우

$$P_n = P_{no} [0.658^{P_{no}/P_e}] \quad (1)$$

$$\text{단, } P_e = \pi^2 (EI_{eff}) / (KL)^2$$

② $P_{no}/P_e > 2.25$ 인 경우

$$P_n = 0.877 P_e \quad (2)$$

여기서, P_{no} : 세장비를 고려하지 않은 합성기둥의

공칭압축강도(N)

P_e : 합성기둥 부재의 오일러좌굴하중(N)

P_n : 공칭압축강도(N)

2) P_{no} 산정

① 콤팩트(조밀) 단면

$$P_{no} = P_p = F_y A_s + F_{yr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (3)$$

여기서, F_y, F_{yr} : 강재 및 철근의 항복강도(MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 압축강도(MPa)

A_s, A_{sr}, A_c : 각 재료의 단면적(mm²)

② 비콤팩트(비조밀) 단면

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad (4)$$

여기서, $P_y = F_y A_s + 0.7 f_{ck} (A_c + A_{sr} E_{sr} / E_c)$

$\lambda, \lambda_p, \lambda_r$: 부재 폭두께비 및 폭두께비 제한값

E_{sr}, E_c : 철근과 콘크리트의 탄성계수(MPa)

③ 세장단면

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0.7 f_{ck} (A_c + A_{sr} E_{sr} / E_c) \quad (5)$$

여기서, $F_{cr} = 9 E_s / (b/t)^2$

Table 4에서 실험체별 공칭압축강도에 대한 최대하중의 비(P_{test}/P_n)는 1.04~1.12의 범위로, 평균 1.08로 나타났으며, 모든 실험체는 공칭강도를 확보하는 것으로 확인되었다. 그러므로 용접부 상세와 용접방법에 따른 공칭압축강도는 건축구조기준의 충전형 합성기둥 공칭강도 산정식을 적용하여 평가할 수 있는 것으로 판단된다(AIK, 2016; KDS

41 31 00, 2019).

3.3 용접부 상세의 영향

Fig. 5는 전체 실험체의 하중-변위 그래프이다. 용접부상세를 변수로 최대하중(P_{test})을 비교하면, 그루브용접 실험체는 평균 6,162.7 kN, 최대하중의 비(P_{test}/P_n)는 평균 1.12이다. 판두께 2/3를 개선한 부분용입용접 실험체는 평균 5,779.5 kN, 최대하중의 비는 평균 1.05이다. 판두께 1/2를 개선한 부분용입용접 실험체는 평균 6,142.1 kN, 최대하중의 비는 평균 1.11이다. 실험결과를 최대하중으로 비교 해 보면, 최대하중은 1/2 부분용입용접 실험체와 그루브용접 실험체가 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 반면 2/3 부분용입용접의 경우 그루브용접 대비 약 6.2% 낮게 나타났다.

Fig. 5. Load-Displacement Curve of the Column Specimens

최대하중 시 변위(δ_{test})를 기준으로 비교하면, 최대하중 시의 변위는 그루브용접 실험체가 평균 29.5 mm, 2/3 부분용입용접 실험체가 평균 13.7 mm, 1/2 부분용입용접 실험체가 평균 10.8 mm로 나타났다. 그루브용접이 2/3 부분용입용접 보다 약 2.2배, 1/2 부분용입용접 보다 약 2.7배 높게 나타났다.

에너지소산능력(E)을 기준으로 비교하면, 그루브용접 실험체가 평균 260,758 kN·mm, 판두께 2/3를 개선한 부분용입용접 실험체가 평균 143,228 kN·mm, 1/2를 개선한 부분용입용접 실험체가 평균 149,853 kN·mm로 나타났다. 그루브용접이 판두께 2/3를 개선한 부분용입용접 보다 약 1.8배, 1/2를 개선한 부분용입용접 보다 약 1.7배 높게 나타났다.

실험체의 최대하중 시 변위와 에너지 소산능력을 바탕으로 용접부상세 변수별로 변형능력을 비교하면, 기둥 모서리 용접부상세는 판두께의 1/2를 개선한 부분용입용접 이상을 적용할 경우 강도에는 큰 영향을 미치지 않으나 변형능력에는 차이를 보이는 것으로 확인되었다. 반면, 강구조 합성기둥은 타 구조 시스템과 비교하여 변형능력이 우수하고, 기둥은 휨재에 비해 변형능력의 영향이 작으므로 기둥 모서리 용접부의 개선깊이는 1/2 이상 확보 시 양호한 내력과 변형능력을

확보할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 6은 용접방법을 변수로 하중-변위 그래프를 정리한 것이다. 플럭스코어드아크용접(FCAW)을 적용한 P1F-D1 실험체와 가스메탈아크용접(GMAW)을 적용한 P1G-D1 실험체의 최대하중은(P_{test})은 각각 5,762.6 kN, 5,718.2 kN으로 나타났다. 용접방법에 의한 최대하중의 차이는 약 1%로 큰 차이가 발생하지 않았다. 그러나 최대하중 시 변위는 P1F-D1 실험체가 초기에 최대하중에 도달하여 약 2.6배 차이를 보이고 있으나, 에너지 소산능력(E)을 기준으로 보면 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다. 그러므로 용접방법은 시공성과 제작성을 고려하여 선택적인 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 6. Load-Displacement Curve of the Column Specimens with Welding Type

Fig. 7은 전단연결재로 사용한 강재앵커의 종류를 변수로 하중-변위 그래프를 정리한 것이다. 이형철근을 사용한 P1F-D1 실험체와 파이프를 사용한 P1F-D2 실험체의 최대하중(P_{test})은 각각 5,762.6 kN, 5,857.6 kN으로, 강재앵커의 종류에 의한 최대하중의 차이는 약 1.5%의 차이로 나타났다. 그러므로 강재앵커는 일정한 강도가 확보된다면, 고강도와 저강도의 차이가 없으며, 충실단면과 중공단면의 차이도 크지 않을 것으로 판단된다.

Fig. 7. Load-Displacement Curve of the Column Specimens with Steel Bar Type

3.4 파괴양상

Fig. 8은 콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 실험체별 파괴양상이다. 최대하중 이후 하중이 지속되면서 강재의 국부좌굴이 발생하였고, 콘크리트 크랙발생과 용접부 파단 등으로 실험이 종료되었다. Fig. 8(e), Fig. 8(g)와 같이 P1F-D2 실험체와 P2F-D1-2 실험체는 기둥의 중앙부에서 국부좌굴이 발생하였고, 이를 제외한 나머지 실험체들은 모두 실험체의 양 단부에서 국부좌굴이 발생하였다. 또한 Fig. 8(a)와 같이 C1F-D1-1 실험체는 모재부에서 크랙이 발생하였고, 이를 제외한 나머지 실험체들은 모두 용접부에서 크랙이 발생하였다. 그러므로 파괴양상은 전반적으로 큰 차이는 없으나, 그루브용접의 경우 모재부에서 크랙이 발생한 점으로 보아 강관의 일체성을 향상시키는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 8. Local Buckling and Crack View of the Column Specimens

4. 용접 각형강관기둥의 매크로시험 결과

매크로시험은 단주 압축가력실험 종료 후 실험체에서 용접부 단면을 확인할 수 있도록 Figs. 9(a)~9(c)와 같이 채취하였고 매크로시험을 실시하였다.

Fig. 9(a)는 그루브용접 실험체의 매크로시험 결과이며, 그루브용접 매크로시험편의 경우 판재 뒷부분에 뒷담재를 부착하여 4패스(Pass)로 용접되었다. Fig. 9(b)는 판두께 2/3를 개선한 부분용입용접 실험체의 매크로시험 결과이며, 2/3 부분용입용접 매크로시험편의 경우 1패스(Pass)로 용접되었다. Fig. 9(c)는 판두께 1/2를 개선한 부분용입용접 실험체의 매크로시험 결과이며, 1/2 부분용입용접 매크로시험편의 경우 1패스(Pass)로 용접되었다.

부분용입용접의 일부 실험체에는 용입부족이 발생하였다. 개선각도와 판두께의 영향으로 용접 과정에서 안쪽 부분이 제대로 채워지지 않은 것으로 판단된다. 그러나 시험시 최대하중(P_{test})은 판두께 1/2를 개선한 부분용입용접 실험체와 그루브용접 실험체가 비슷하게 나타나서 강도에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

용입부족을 개선하기 위해 매크로시험체를 추가로 제작하였다. 동일 판두께(12 mm)의 2/3를 개선한 부분용입용접의 개선각도를 45°에서 50°로 상향하였고, 매크로 시험결과는 Fig. 9(d)와 같다. 용접부의 개선각도를 45°에서 50°로 변경 시 용접량은 약 20% 증가하는 것으로 나타났으나, 매크로시험결과 용입부족이 상당히 개선되었다.

(a) CJP Specimen and Examination Result

(b) 2/3 PJP Specimen and Examination Result

(c) 1/2 PJP Specimen and Examination Result

(d) 50° of 2/3 PJP Specimen and Examination Result

Fig. 9. Macro Examinations Results

매크로시험 결과, 용접부상세는 판두께 1/2 이상을 개선한 부분용입용접으로 적용시 최대하중은 큰 차이가 없으나, 용입부족이 발생할 수 있다. 용입부족은 용접부상세의 개선 각도 상향 또는 용접방법 변경 등을 통해 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

콘크리트충전 용접 각형강관기둥의 제작방법에 따른 구조성능평가 및 용접부상세와 용접량의 차이에 따른 기존 설계식의 적용가능 여부를 검토하기 위하여 단주 압축강도 시험과 매크로시험을 실시하였으며, 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험체별 공칭압축강도에 대한 최대하중의 비(P_{test}/P_n)는 1.04~1.12로, 평균 1.08로 나타났으며, 모든 실험체는 공칭강도를 확보하는 것으로 확인되었다. 그러므로 건축구조기준(KBC 2016, KDS 41 31 00)의 충전형 합성기둥 공칭강도 산정식을 적용하면, 적합할 것으로 판단된다.
- (2) 기둥 모서리 용접부의 판두께 1/2 이상을 개선한 부분용입용접과 그루브용접을 비교하면 강도는 큰 차이가 없고, 변형능력(또는 연성)은 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 강구조 합성기둥은 타구조 시스템 대비 변형능력이 상대적으로 우수한 것으로 평가할 수 있다.
- (3) 용접방법을 변수로 비교하면, 플럭스코어드아크용접(FCAW)을 적용한 실험체의 최대하중(P_{test})은 가스 메탈아크용접(GMAW)을 적용한 실험체 대비 거의 동등한 내력을 확보하는 것으로 나타났다. 그러므로 용접방법은 시공성과 제작성을 고려하여 선택적인 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- (4) 실험체의 파괴양상은 최대하중(P_{test}) 이후 강재에 국부좌굴이 발생하였고, 이후 대부분의 실험체가 용접부에서 크랙이 발생하면서 시험이 종료되었다. 그러나 그루브용접 실험체는 모재부에서 크랙이 발생한 점으로 보아 강판의 일체성을 향상시키는 경향을 보이는 것으로 판단된다.
- (5) 매크로시험결과, 개선각도를 50°로 상향하여 관리하면 용입부족을 최소화하여 용접부의 품질이 향상될 것으로 판단된다.

References

- Architectural Institute of Korea (AIK). (2016). *Korean building code and commentary*. Seoul: Kimoonang.
- 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*, Vol. 31, No. 3, pp. 141-150.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). (2020). The tallest 20 in 2020: Then and now. *CTBUH Journal*, Vol. 2020, Issue II, Chicago, pp. 44-51
- Eom, T.S., Kim, J.W., and Yang, J.M. (2019). Axial compression behavior of concrete-encased steel angle columns using high-strength steel. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 31, No. 6, pp. 381-392.
- KDS 41 31 00. (2019). *Building steel structure design standards*. Korean Design Standard, Korea Constriction Standards Center (in Korea).
- Korean Society of Steel Construction (KSSC). (2016). *Design manual of composite structures*. Seoul: Goomibook.
- Korean Society of Steel Construction (KSSC). (2018). (*KS new standard*) *Steel structure design*. Seoul: Goomibook.
- KS D 3504. (2019). *Steel bars for concrete reinforcement*. Korean Agency for Technology and Standards.
- KS D 3515. (2018). *Rolled steels for welded structures*. Korean Agency for Technology and Standards.
- Lee, J.Y., Lee, C.H., Ju, Y.K., Kim, Y.S., and Kim, S.D. (2015). Compressive capacity evaluation of composite column composed of high-strength PC and normal-strength RC. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 31, No. 3, pp. 3-10.
- Oh, J.Y., Lee, D.H., Yang, H.M., Kim, M.S., and Kim, K.S. (2017). Evaluation of structural performance of prefabricated columns with permanent thin-walled steel form integrated with reinforcing bars at eccentric loads. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 33, No. 5, pp. 47-53.
- Tao, Z., Han, L.H., and Wang, Z.B. (2005). Experimental behaviour of stiffened concrete-filled thin-walled hollow steel structural (HSS) stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 7, pp. 962-983.

Received	September 15, 2020
Revised	September 15, 2020
Accepted	October 7, 2020