

# 용접각형강관기둥의 용접부 상세에 의한 외다이아프램 접합부의 인장 및 구조성능 평가

최영한<sup>1</sup> · 김우석<sup>2</sup> · 김성배<sup>3</sup> · 김상섭<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>박사과정, 한국기술교육대학교, 건축공학과, <sup>2</sup>석사과정, 한국기술교육대학교, 건축공학과,

<sup>3</sup>소장, ㈜더나은구조엔지니어링, <sup>4</sup>교수, 한국기술교육대학교, 디자인·건축공학과

## Evaluation of Tensile and Structural Performance of the External Diaphragm Joint on the Welding Detail of the Column with Built-up Square Shape Steel Tube

Choi, Young Han<sup>1</sup>, Kim, U Seok<sup>2</sup>, Kim, Sung Bae<sup>3</sup>, Kim, Sang Seup<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student (Doctor's Course), Dept. of Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

<sup>2</sup>Graduate Student (Master's Course), Dept. of Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

<sup>3</sup>Manager, The Naeun Structural Engineering, Seoul, 07205, Korea

<sup>4</sup>Professor, School of Design & Architectural Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253, Korea

**Abstract** - The tensile test of the external diaphragm joint was conducted to evaluate the structural performance of the external diaphragm joint on the welding detail of the column with built-up square shape steel tube. The nominal strength of the external diaphragm was calculated by the existing design formula and the modified formula considering effective throat thickness of PJP (partial joint penetration) welding of the column. The ratio of the maximum load of the specimens which are that the welding details of the columns were CJP (complete joint penetration) welding and PJP welding were 1.35 and 1.40, respectively. The ratio of the maximum load of the specimens with the PJP welding detail of the column on the nominal strength of the external diaphragm considering the angles of the beam flange and the external diaphragm was 1.25.

**Keywords** - Built-up square shape steel tube, External diaphragm, Joint, Welding detail, Structural performance

### 1. 서론

합성구조는 전단연결재를 사용하여 강재와 콘크리트를 일체화함으로써 재료의 특성을 극대화하는 구조시스템이다<sup>[1],[2]</sup>. 합성보는 전단연결재로 스티드앵커를 일반적으로 사용하고 있으나, 새로운 형상에 대한 연구도 일부 진행되어 왔다<sup>[3]-[6]</sup>. 합성기둥도 강재와 콘크리트 사이의 하중전달을 위해 전단연결재를 설치할 필요가 있으며, 철근 및 앵글

을 전단연결재로 사용한 연구가 진행되었다<sup>[7],[8]</sup>. 강관내부에 콘크리트를 타설하는 충전형 합성기둥도 강관내부에 전단연결재를 설치하여야 한다<sup>[7],[9]</sup>.

H형강 기둥-보 접합은 기둥에 보를 직접 접합하는 현장 용접방법과 브라켓을 사용하는 공장용접방법 등이 적용된다<sup>[10],[11]</sup>. 충전형 합성기둥의 경우, 기둥-보 접합은 다이아프램을 사용하며, 다이아프램은 내다이아프램과 외다이아프램으로 구분한다. 내다이아프램은 강관의 내부에 설치하므로 특별한 용접방법이 필요하며, 외다이아프램은 제작 설치가 용이하나 용접상세와 용접방법 등에 따라 구조성능이 크게 영향을 미칠 수 있다.

한국강구조학회의 합성구조 설계매뉴얼에서 외다이아프램의 공칭강도는 외다이아프램 폭의 내력과 각형강관기둥 모서리부분의 내력 합으로 산정한다<sup>[9]</sup>. 또한 용접각형강관은 판재를 용접하여 제작하므로 모서리부분의 용접부가

Note.-Discussion open until April 30, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 23, 2020; revised September 11, 2020; approved on October 06, 2020.

Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-41-560-1330 Fax. +82-41-560-1224

E-mail. kimss@koreatech.ac.kr

형성된다. 따라서 기둥 용접상세에 따라 외다이아프램의 공칭강도를 확인할 필요가 있다<sup>[12]</sup>. 이에 본 연구에서는 외다이아프램 접합부의 구조성능을 기둥 용접상세와 외다이아프램 용접방법, 상세 등을 변수로 평가하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

용접각형강관기둥의 용접상세에 따른 외다이아프램 접합부의 구조성능을 평가하고, 외다이아프램 공칭강도의 적용성을 평가하기 위하여 외다이아프램 접합부의 인장실험과 용접부 매크로 시험을 진행하였다.

### 2.1 외다이아프램 접합부의 인장실험

외다이아프램 접합부의 인장실험은 Table 1과 같이 9개의 실험체를 제작하였다. 실험체의 변수는 용접각형강관기둥의 용접상세, 용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합부의 용접상세, 외다이아프램의 폭( $h_s$ , Fig. 5 참조)이며, 변수에 따라 Fig. 1과 같이 실험체명을 구분하였다.

Table 1. Specimens plan

Specimen	Welding detail		$h_s$	Material
	Column	Diaphragm joint		
CC40	CJP groove welding	CJP	40	Steel: SM355 Rebar: SD500 Concrete: $f_{ck} = 24$ MPa
CC30		CJP	30	
CP40		PJP	40	
CF40		Fillet		
PC40	PJP groove welding	CJP	30	
PC30		PJP	40	
PP40		PJP		
PF40		Fillet	50	
PF50				

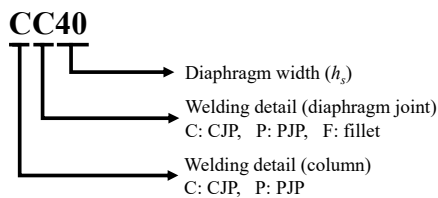


Fig. 1. Specimen name

외다이아프램 접합부 실험체는 내부에 D25(SD500) 철근을 강재앵커로 적용하였으며, 강재앵커에 대한 성능평가는 이 논문에서는 제외한다. 기둥 사이즈는 250×250×12이며, 길이는 500 mm이고, 용접각형강관기둥에 외다이아프램을 용접하여 실험체를 제작하였으며, 실험체 형상은 Fig. 2와 같다. 현장 제작여건을 고려하여 외다이아프램은 두 부분으로 나누어 제작하였으며, 기둥에 가용접(tack welding) 후 외다이아프램의 두 부분을 그루브용접(CJP)하였다.

용접각형강관기둥은 12 mm 두께의 SM355 판재 4개를 용접하여 250×250×12 사이즈로 제작하였으며, 용접각형강관기둥의 용접상세는 Fig. 3과 같이 그루브용접(CJP)과 부분용입용접(PJP)이 적용되었다. 용접각형강관기둥의 부분용입용접(PJP)은 개선 깊이를 강재 두께의 2/3인 8 mm로 계획하였다.

외다이아프램은 용접각형강관기둥의 4면과 모두 용접하였으며, 용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합부의 용접상세는 Fig. 4와 같이 그루브용접(CJP)과 부분용입용접(PJP), 필릿용접(fillet)이 적용되었다. 외다이아프램 접합부의 부분용입용접(PJP) 개선 깊이는 강재 두께의 2/3인 8 mm이며, 필릿용접(fillet)의 필릿 사이즈는 8 mm로 계획하였다.

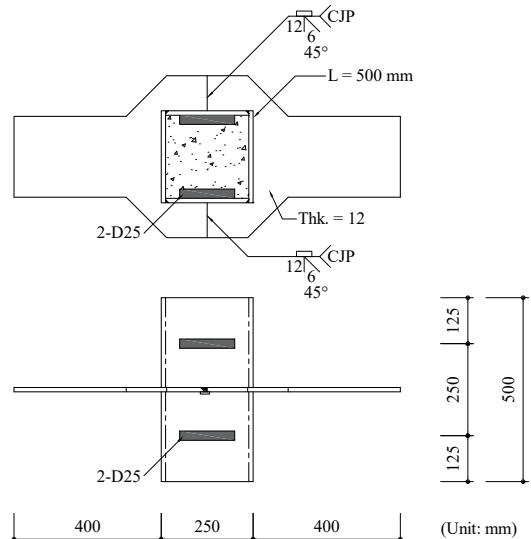


Fig. 2. Specimens shape

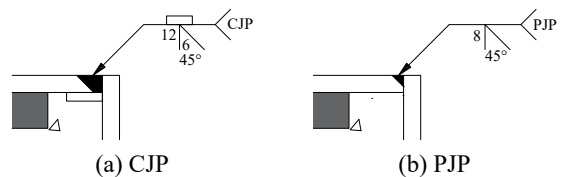


Fig. 3. Welding detail (column)

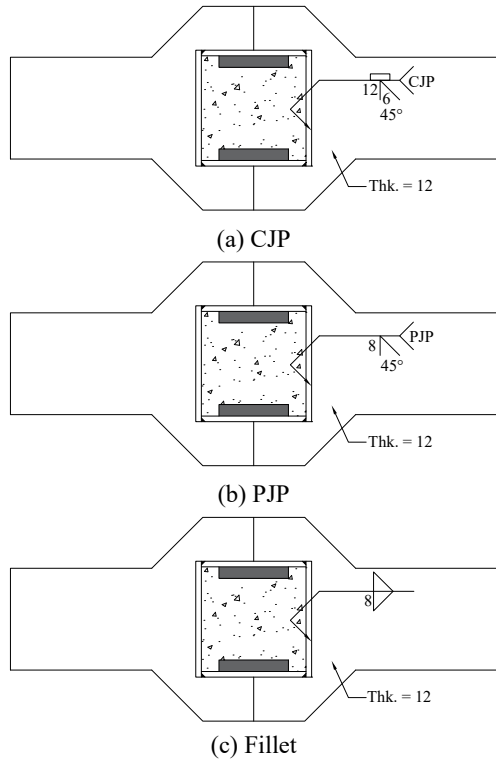


Fig. 4. Welding detail (diaphragm joint)

외다이아프램의 폭( $h_s$ )은 외다이아프램의 설계식에서 공칭강도에 영향을 미치는 주요 변수이다. 또한, 외다이아프램의 폭에 따라 외다이아프램의 사이즈가 결정된다. 합성구조 매뉴얼에서는 외다이아프램의 폭( $h_s$ )에 대해 적용범위( $h_s/B \geq 0.15t_f/t_s$ )를 제시하고 있다<sup>9)</sup>. 그러나 외다이아프램의 폭( $h_s$ )이 구조성능에 미치는 영향을 확인하고 안전성 및 설계식의 적용성 등을 평가하기 위해 외다이아프램의 폭 40 mm를 기준으로 30 mm, 50 mm인 실험체도 제작하였다. 또한 본 실험은 보 플랜지와 외다이아프램의 두께를 동일하게 적용하였으나, 외다이아프램의 두께를 보 플랜지 두께의 2배 정도로 적용하는 사례와 적용범위( $h_s/B \geq 0.15t_f/t_s$ )를 고려하여 외다이아프램의 폭을 변수로 반영하였다. 외다이아프램의 사이즈는 외다이아프램의 폭( $h_s$ )에 따라 Fig. 5와 같다.

용접은 K-71T( $\phi 1.4$ ) 용접봉을 사용한 플럭스코어드아크 용접(FCAW)이 적용되었다. CJP로 제작된 용접각형강관기둥의 경우 4 pass로 평균 전압 39 V, 평균 전류 350 A, 평균 입열량 2.40 kJ/mm이다. PJP로 제작된 용접각형강관기둥의 경우 1 pass로 전압 31 V, 전류 250 A, 입열량 1.86 kJ/mm으로 용접절차서에 준해 제작하였다. 용접각형강관기둥에 외다이아프램을 용접한 후 강관 내부에 콘크리트를 타설하여 충전형 합성기둥으로 제작하였다.

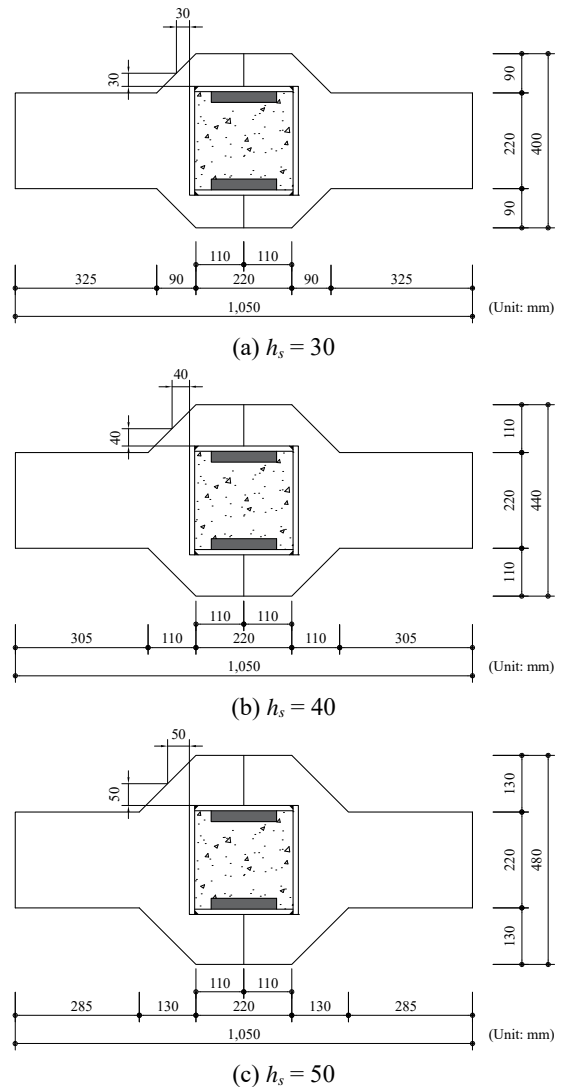


Fig. 5. Diaphragm size of specimens

외다이아프램 접합부의 인장실험은 Fig. 6과 같이 물림길이 120 mm가 되도록 실험체를 설치하고 3,000 kN급 UTM으로 단순 인장가력하였다. 변위를 측정하기 위해 실험체의 상단에서 200 mm 위치 좌우에 변위계를 설치하였다.

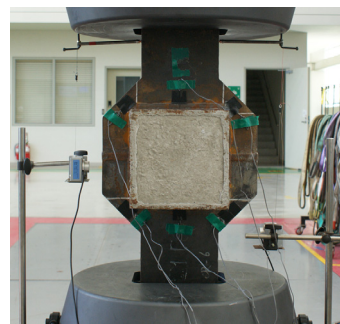


Fig. 6. Test set-up of external diaphragm joint

## 2.2 용접부 매크로 시험

용접부 매크로 시험은 용접각형강관기둥의 용접부, 용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합부의 용접부 건전성을 확인하여 구조성능에 미친 영향을 확인하기 위해 실시하였다.

용접부 매크로 시험편은 외다이아프램 접합부의 인장시험이 종료된 후 실험체에서 채취하였으며, 용접각형강관기둥의 용접상세(CJP, PJP) 및 외다이아프램 접합부의 용접상세(CJP, PJP, fillet)에서 1개씩 채취하여 총 5개의 용접부 매크로 시험편을 제작하였다.

용접부 매크로 시험은 용접부 단면을 사포로 연마한 후 질산과 에틸알콜을 혼합한 5% Nital 용액을 도포하여 부식시킨 후 육안으로 용접부 단면을 확인하였다.

## 3. 외다이아프램의 공칭강도

외다이아프램의 공칭강도는 Fig. 7과 같이 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도( $\theta$ )가  $30^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 인 경우, 식 (1)과 같이 산정한다. 식 (1)은 외다이아프램 폭의 내력과 각형강관기둥 모서리부분의 내력 합으로 이루어져 있다<sup>9)</sup>.

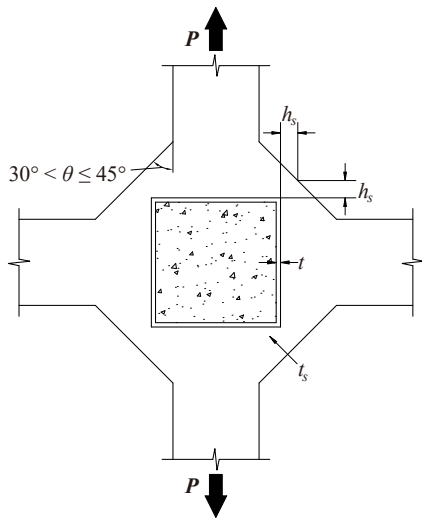


Fig. 7. Diaphragm size for nominal strength

$$P_n = \frac{4}{\sqrt{3}} h_s t_s F_{dt} + 2(4t + t_s) t F_{ct} \quad (1)$$

여기서,  $P_n$ : 다이아프램의 공칭강도(kN)

$h_s$ : 다이아프램의 폭(mm)

$t_s$ : 다이아프램의 판두께(mm)

$F_{dt}$ : 다이아프램의 항복강도(MPa)

$t$ : 각형강관의 두께(mm)

$F_{ct}$ : 각형강관의 항복강도(MPa)

용접각형강관기둥이 그루브용접(CJP)으로 제작된 경우 식 (1)을 적용하여 외다이아프램의 공칭강도를 산정할 수 있다. 용접각형강관기둥이 부분용입용접(PJP)로 제작된 경우 외다이아프램의 공칭강도에 대해 식 (1)을 수정한 식 (2)가 제안되었다<sup>12)</sup>.

$$P_n = \frac{4}{\sqrt{3}} h_s t_s F_{dt} + 2(4t + t_s) a F_{ct} \quad (2)$$

여기서,  $a$ : 부분용입용접의 유효목두께

식 (1)과 식 (2)에서  $4/\sqrt{3}$ 은  $2/\cos 30^\circ$ 을 나타내는 값으로 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도( $\theta$ )가  $30^\circ$ 인 경우 외다이아프램 폭( $h_s$ )의 내력을 구하기 위해 적용된다.  $30^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 인 경우의 외다이아프램의 공칭강도 식에  $4/\sqrt{3}$ 를 적용한 것은 식의 간편함과 안전하게 설계하기 위함으로 판단된다.

본 연구에서는 외다이아프램 접합부의 인장시험을 실시하여 외다이아프램의 공칭강도와 비교하였다. 외다이아프램의 실제 거동을 파악하기 위하여 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도( $\theta$ )를 고려하면 식 (1)과 식 (2)는 각각 식 (3)과 식 (4)로 수정할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 외다이아프램 접합부 실험체에서  $\theta$ 는  $45^\circ$ 이다.

$$P_n = \frac{2}{\cos \theta} h_s t_s F_{dt} + 2(4t + t_s) t F_{ct} \quad (3)$$

$$P_n = \frac{2}{\cos \theta} h_s t_s F_{dt} + 2(4t + t_s) a F_{ct} \quad (4)$$

## 4. 실험결과

### 4.1 소재시험결과

외다이아프램 접합부 인장시험체 제작에 사용된 콘크리트와 강재 및 철근의 소재특성을 파악하기 위하여 소재시험을 실시하였다. 콘크리트 압축강도시험은 9개의 공시체, 강재 및 철근 인장시험은 각각 3개의 시편을 제작하였으며, 시험결과는 Tables 2-3에 평균값으로 나타내었다. 콘크리트의 압축강도는 26.4 MPa이며, 강재 및 철근은 KS를 만족하는 것으로 나타났다.

**Table 2.** Material compressive test result

$f_{ck}$	Compressive strength
24 MPa	26.4 MPa

**Table 3.** Material tensile test result

Division	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SM355 12 mm	390.2	553.6	24.78
SD500 D25	642.3	772.3	21.72

4.2 외다이아프램 접합부의 인장실험 결과

외다이아프램 접합부의 인장실험 결과는 Table 4와 같으며,  $P_{test}$ 는 최대하중,  $\delta_{test}$ 는 최대하중시의 변위이다. 강관의 경우 최대내력은 최대하중과 강관폭(또는 지름)의 3% 변형에 해당하는 하중 중 먼저 도달한 값으로 결정한다<sup>[13]</sup>. 그러나 본 연구는 합성기둥이므로 최대하중을 기준으로 최대내력을 산정하였다. 또한 각형강관기둥의 변형능력도 최대내력 또는 최대내력의 95%까지 저하할 때의 변형량을 기준으로 산정하므로<sup>[14]</sup> 본 연구에서는 최대하중을 최대내력으로 하였다.

Table 4에서 용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용

접(CJP)인 실험체가 부분용입용접(PJP)인 실험체보다 최대하중 및 변위가 크게 나타났다. Fig. 8은 용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실험체의 하중-변위 곡선, Fig. 9는 용접각형강관기둥의 용접상세가 부분용입용접인 실험체의 하중-변위 곡선이다. 변위는 2개의 변위계에서 측정된 값의 평균치를 사용하였다.

용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실험체는 Fig. 10과 같이 공통적으로 보 플랜지의 파괴로 나타났으며, 용접각형강관기둥의 용접상세가 부분용입용접인 실험체는 Fig. 11과 같이 공통적으로 기둥 용접부 및 외다이아프램의 파괴로 나타났다. 따라서 용접각형강관기둥의 용접상세가 실험결과에 영향을 미친 중요한 변수인 것으로 판단된다.

Table 4에서  $P_f$ 는 보 플랜지의 소재시험결과를 반영한 공칭강도( $A_f F_y$ )이다. 플랜지 파괴가 나타난 실험체의 보 플랜지 공칭강도 대비 최대하중 비( $P_{test}/P_f$ )는 1.24 - 1.29, 평균 1.27로 나타났다.

$P_{n1}$ 은 식 (1) 및 식 (2)를 적용한 외다이아프램의 공칭강도이다. 용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실험체의 경우 식 (1), 부분용입용접인 실험체의 경우 식 (2)를 적용하여 외다이아프램의 공칭강도를 산정하였다.

용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실험체의 경우, 식 (1)을 적용한 외다이아프램의 공칭강도 대비 최대하중의 비( $P_{test}/P_{n1}$ )는 1.30 - 1.44, 평균 1.35로 나타났다. 용접각형강관기둥의 용접상세가 부분용입용접인 실험체의

**Table 4.** Diaphragm tensile test result

Specimen	$P_{test}$ (kN)	$\delta_{test}$ (mm)	$P_f^*$ (kN)	$\frac{P_{test}}{P_f}$	$P_{n1}^{**}$ (kN)	$\frac{P_{test}}{P_{n1}}$	$P_{n2}^{***}$ (kN)	$\frac{P_{test}}{P_{n2}}$	Fracture mode
CC40	1,330.4	40.63	1,030.1	1.29	994.4	1.34	1,091.6	1.22	Flange
CC30	1,273.7	44.37		1.24	886.3	1.44	959.2	1.33	
CP40	1,288.5	28.79		1.25	994.4	1.30	1,091.6	1.18	
CF40	1,314.4	30.58		1.28		1.32		1.20	
PC40	1,053.2	13.74		1.02	807.1	1.30	904.3	1.16	
PC30	1,043.1	26.49		1.01	699.0	1.49	771.9	1.35	
PP40	1,121.6	18.04		1.09	807.1	1.39	904.3	1.24	
PF40	1,185.0	23.24		1.15		1.47		1.31	
PF50	1,229.2	26.99		1.19	915.3	1.34	1,036.8	1.19	

\* $P_f$ : Nominal strength of beam flange by material tensile test result

\*\* $P_{n1}$ : Nominal strength calculated by Eqs. (1)-(2)

\*\*\* $P_{n2}$ : Nominal strength calculated by Eqs. (3)-(4)

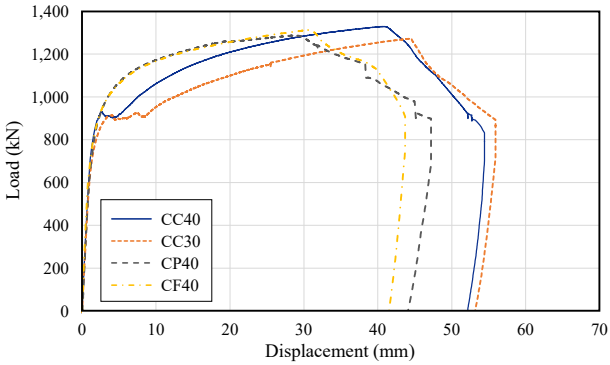


Fig. 8. Load-displacement curve of column CJP specimens

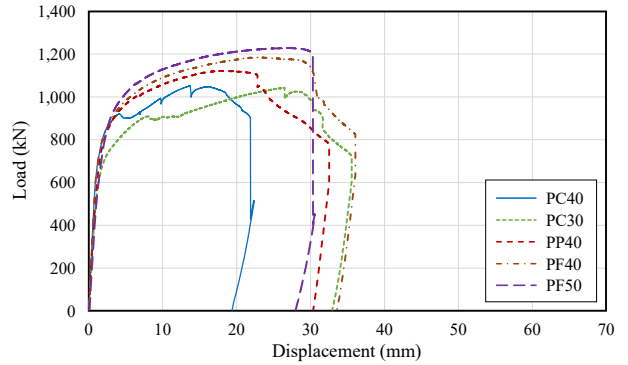


Fig. 9. Load-displacement curve of column PJP specimens

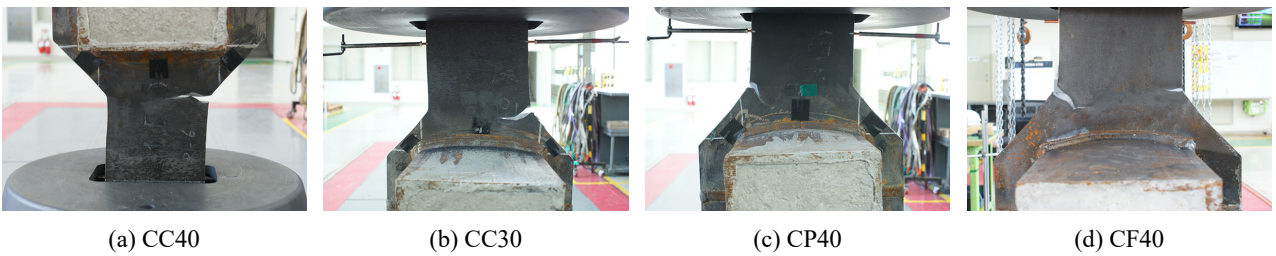


Fig. 10. Crack of flange (column CJP specimens)

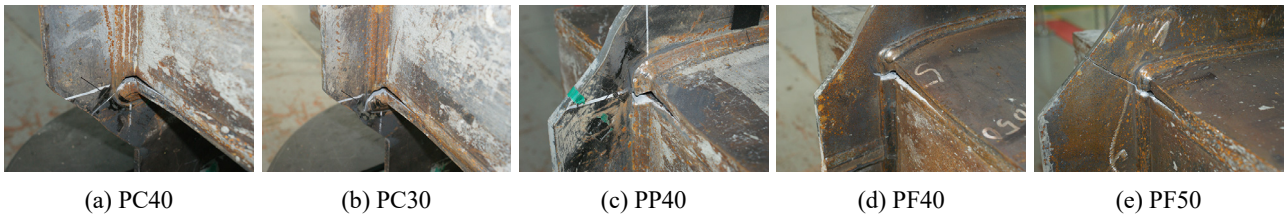


Fig. 11. Crack of column and diaphragm (column PJP specimens)

경우, 식 (2)를 적용한 외다이아프램의 공칭강도 대비 최대하중의 비( $P_{test}/P_{n1}$ )는 1.30 - 1.49, 평균 1.40으로 나타났다.

식 (1) 및 식 (2)를 적용하는 경우, 외다이아프램의 공칭강도 대비 최대하중의 비는 유사하게 나타났다. 따라서 용접각형강관기둥의 용접상세가 부분용입용접(PJP)인 경우, 부분용입용접의 유효목두께를 반영한 식 (2)로 외다이아프램의 공칭강도를 검토하는 것이 더 정확한 해를 갖는 것으로 판단된다.

외다이아프램의 폭이 좁거나 용접각형강관과 외다이아프램 접합부의 용접이 부분용입용접 또는 필릿용접인 경우 최대하중( $P_{test}$ )은 공칭강도( $P_{n1}$ ) 대비 강도편차가 크게 발생하여 내력이 상대적으로 크게 상승하였다. 이러한 이유는 기둥과 외다이아프램의 용접부 제작과정에서 용접부가 초기 계획보다 과하게 제작된 영향이 있는 것으로 판단된다.

#### 4.3 실험변수에 의한 외다이아프램 접합부 인장실험 분석

본 연구의 외다이아프램 접합부 실험체에서 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도( $\theta$ )는 45°이다. 외다이아프램의 실제 거동을 파악하기 위하여  $P_{n2}$ 는 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도( $\theta$ )를 고려하여 수정한 식 (3) 및 식 (4)를 적용한 외다이아프램의 공칭강도이다. 용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실험체의 경우 식 (3), 부분용입용접인 실험체의 경우 식 (4)를 적용하여 외다이아프램의 공칭강도를 산정하였다.

용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실험체의 식 (3)을 적용한 외다이아프램의 공칭강도 대비 최대하중의 비( $P_{test}/P_{n2}$ )는 1.18 - 1.33, 평균 1.23으로 나타났다. 용접각형강관기둥의 용접상세가 부분용입용접인 실험체의 식 (4)

를 적용한 외다이아프램의 공칭강도 대비 최대하중의 비 ( $P_{test}/P_{n2}$ )는 1.16 - 1.35, 평균 1.25로 나타났다. 따라서 식 (3) 및 식 (4)를 적용한 외다이아프램의 공칭강도는 실험결과와 잘 일치하는 것으로 판단된다. 또한 보 플랜지와 외다이아프램의 각도를 반영하면, 실험결과를 더 정확하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

외다이아프램 폭( $h_s$ )을 변수로 최대하중을 비교하면, CC40(40 mm) 실험체가 CC30(30 mm) 실험체보다 4.5 %, PC40 실험체가 PC30 실험체보다 1 %, PF50(50 mm) 실험체가 PF40 실험체보다 3.7 % 높게 나타났다. 따라서 외다이아프램 폭이 실험결과에 미치는 영향은 용접각형강관기둥의 용접상세가 실험결과에 미치는 영향보다 상대적으로 작은 것으로 판단된다.

용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합부의 용접은 그루브용접(CJP)과 부분용입용접(PJP), 필릿용접(filllet)으로 구분하여 실시하였다. 용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합부의 용접상세가 최대하중에 미치는 영향을 Fig. 12와 같이 상관계수로 평가하였다. 외다이아프램 폭( $h_s$ )이 40 mm인 실험체를 비교한 것으로 상관계수는 0.23으로 나타났다. 따라서 용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합부의 용접상세가 실험결과에 미치는 영향은 용접각형강관기둥의 용접상세가 실험결과에 미치는 영향보다 작은 것으로 판단된다.

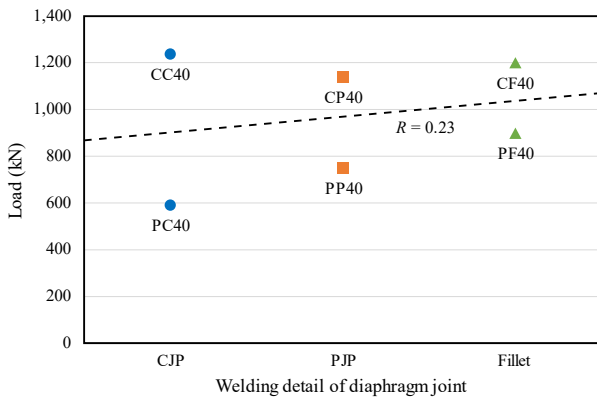


Fig. 12. Relation between welding detail of diaphragm joint and load

#### 4.4 변형도 분석

외다이아프램의 변형능력을 평가하기 위해 Fig. 13과 같이 6개의 스트레인 게이지를 부착하였다. 스트레인 게이지는 용접각형강관기둥에서 30 mm 이격한 위치에 부착하였으며, 9개의 실험체 모두 동일한 위치에 부착하였다.

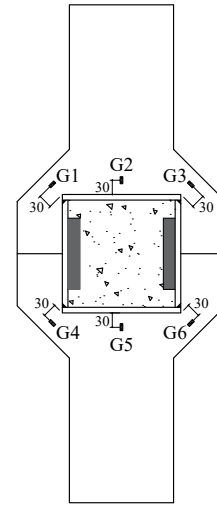


Fig. 13. Location of gauges

Fig. 14는 4개 실험체에 대해 변형도 곡선을 정리한 것이다. Fig. 14(a)는 CC40 실험체의 변형도 곡선이며, CC30 실험체도 유사한 경향을 나타냈다. 외다이아프램 폭에 부착한 G1, G3, G4, G6의 변형도는 거의 같고, 가운데에 부착한 G5의 변형도가 다른 게이지에 비해 약간 높게 나타났으나 힘이 전체적으로 유사하게 전달된 것으로 판단된다.

Fig. 14(b)는 CP40 실험체의 변형도 곡선이며, CF40 실험체도 유사하다. 가운데에 부착한 G2, G5의 변형도가 거의 증가하지 않다가 최대하중 이후 약간 증가하는 것으로 나타났으며, 외다이아프램 폭에 부착한 게이지의 변형도가 고르게 증가하는 것으로 나타났다. 힘이 외다이아프램을 통해 고르게 전달된 것으로 판단된다.

Fig. 14(c)는 PC40 실험체의 변형도 곡선이며, PC30 실험체도 유사하다. 가운데에 부착한 G5의 변형도가 약간 증가하나, 외다이아프램 폭에 부착한 게이지의 변형도가 고르게 증가하였으며, 힘이 외다이아프램을 통해 고르게 전달된 것으로 판단된다. 최대하중 직전부터 G4의 변형도가 다른 게이지의 변형도보다 높게 나타나는데 국부적인 응력 집중으로 조기에 최대하중에 도달하였으며, G4의 위치에서 판단되었다.

Fig. 14(d)는 PF40 실험체의 변형도 곡선이며, PP40, PF50 실험체도 유사하다. 가운데에 부착한 G2, G5의 변형도가 거의 증가하지 않았으며, 외다이아프램 폭에 부착한 게이지의 변형도가 고르게 증가하는 것으로 나타났다. 힘이 외다이아프램을 통해 고르게 전달된 것으로 판단된다.

각 실험체의 변형도를 분석하면, 기둥과 외다이아프램 모두 그루브용접을 실시한 경우(CC30, CC40) 외다이아프램

의 수직과 수평 등 전단면을 통해 동일한 변형이 발생하였으며, 그 외 기둥과 외다이아프램이 모두 그루브용접이 아닌 경우 외다이아프램을 통해 힘의 전달이 더 크게 발생하는 것으로 판단된다.

#### 4.5 용접부 매크로 시험결과

용접각형강관기둥의 용접부 매크로 시험결과는 Fig. 15와 같다. 그루브용접으로 제작한 용접각형강관기둥의 용접부는 Fig. 15(a)와 같이 건전한 것으로 판단된다. 또한 부분용입 용접으로 제작한 용접각형강관기둥의 용접부는 Fig. 15(b)와 같이 용입부족이 나타났다. 이러한 영향이 조합되어 용접

각형강관기둥이 부분용입용접인 실험체의 경우, 크랙이 기둥 용접부에서 시작된 것으로 판단된다.

용접각형강관기둥의 부분용입용접의 유효목두께 및 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도를 고려하여 수정한 식 (4)와 인장실험 결과가 잘 일치하였다. 그러므로 일부 부분용입용접의 용입부족이 내력에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 개선각도가 45°인데, 개선각도를 상향하거나, 용접방법 등을 개선하면 용접부 품질이 상당히 개선될 것으로 판단된다.

용접각형강관기둥과 외다이아프램 접합의 용접부 매크로 시험결과는 Fig. 16과 같다. 용접각형강관기둥과 외다이아프램 용접은 그루브용접(CJP), 부분용입용접(PJP), 필릿

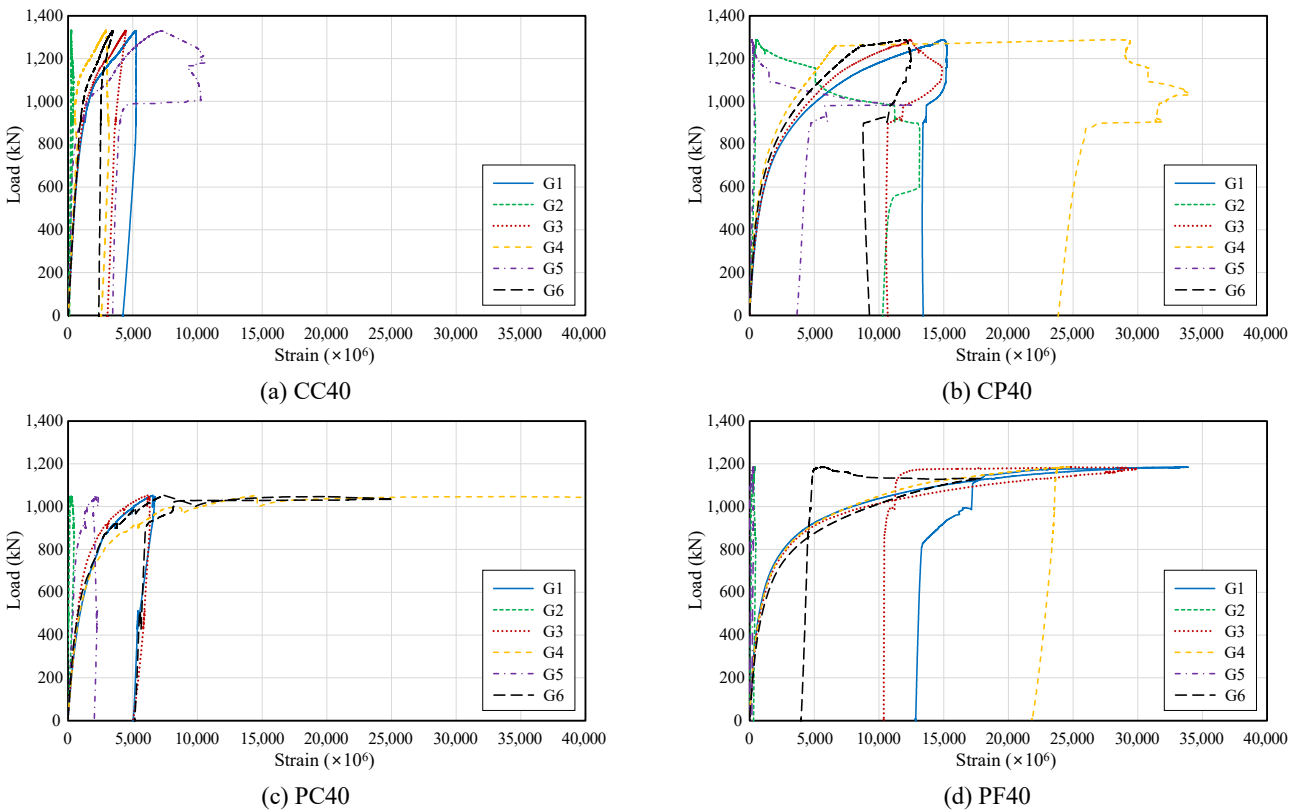


Fig. 14. Strain curve

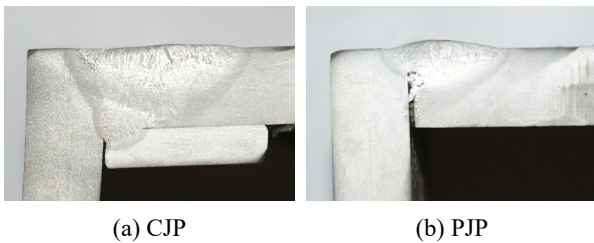


Fig. 15. Macroscopic test result of welding detail of column

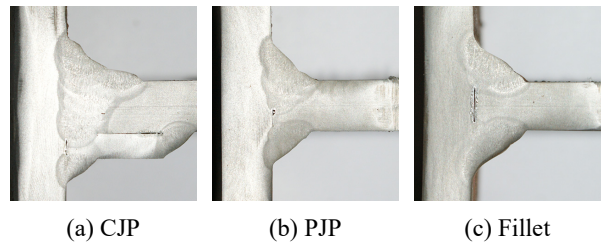


Fig. 16. Macroscopic test result of welding detail of diaphragm and column flange



용접(fillet) 모두 건전한 것으로 판단된다. 실험체 제작과정에서 Fig. 16(a) 및 16(b)와 같이 용접량이 증가하여 용접각형강관과 외다이하프램 접합부의 용접상세에 따른 최대하중의 차이가 크지 않은 것으로 판단된다.

## 5. 결론

용접각형강관기둥의 용접상세에 따른 외다이하프램 접합부의 구조성능을 평가하기 위해 외다이하프램 접합부의 인장실험과 용접부 매크로 시험을 진행하였다.

- (1) 용접각형강관기둥의 모서리 용접상세가 그루브용접(CJP)인 실험체의 최대하중과 공칭강도 식 (1)의 비( $P_{test}/P_{n1}$ )는 평균 1.35이고, 부분용입용접(PJP)인 실험체의 최대하중과 공칭강도 식 (2)의 비는 평균 1.40으로 나타났다. 그러므로 기둥 모서리 용접상세가 부분용입용접(PJP)인 경우, 부분용입용접의 유효목두께를 반영한 식 (2)로 외다이하프램의 공칭강도를 검토할 수 있을 것으로 판단된다.
- (2) 보 플랜지와 외다이하프램의 각도를 반영하고 기둥 모서리 용접부의 용접상세를 그루브용접으로 적용한 식 (3)과 부분용입용접을 반영한 식 (4)로 외다이하프램의 공칭강도를 산정하면, 그루브용접 실험체의 최대하중 비( $P_{test}/P_{n2}$ )는 평균 1.23, 부분용입용접 실험체의 최대하중 비는 평균 1.25로 나타났다. 따라서 식 (1), 식 (2)를 수정한 식 (3), 식 (4)를 적용하면, 외다이하프램의 공칭강도는 실험결과와 잘 일치하는 것으로 판단된다.
- (3) 용접각형강관기둥과 외다이하프램의 용접상세(그루브용접, 부분용입용접, 필릿용접)는 외다이하프램의 폭이 폭두께비를 만족하면, 외다이하프램의 용접상세에 의한 최대하중의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.
- (4) 용접부 매크로 시험 결과, 부분용입용접(PJP)으로 제작한 용접각형강관기둥은 일부 용입부족이 발생하였으나, 최대하중에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 그러나 용입부족은 현재의 용접방법과 용접상세를 일부 개선하면, 용접부의 품질확보가 용이할 것으로 판단된다.
- (5) 용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접인 실

험체는 보 플랜지의 파괴로 나타났으며, 부분용입용접인 실험체는 기둥 용접부 및 외다이하프램의 파괴로 나타났다. 따라서 용접각형강관기둥의 용접상세가 파괴양상에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## 참고문헌(References)

- [1] Architectural Institute of Korea (2004) *Concrete Filled Tube(CFT) Structures*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [2] KSSC (2016) *Steel Structures Design*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [3] Shin, H.S. (2005) Analysis of a Load Carrying Behavior of Shear Connection at the Interface of the Steel-Concrete Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.17, No.6, pp.737-747 (in Korean).
- [4] Kim, S.S., Park, D.S., and Boo, Y.S. (2011) Development and Performance Evaluation of the Shear Connector of Composite Beam with Vertical Bars, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 23, No.6, pp.725-736 (in Korean).
- [5] Kim, S.B., Hwangbo, C., Lee, T.G., Cho, H.S., and Kim, S.S. (2014) The Shear Strength Evaluation of the New Shear Connector by Push-out Test, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol.14, No.1, pp.1-10 (in Korean).
- [6] 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).
- [7] Architectural Institute of Korea (2016) *Korean Building Code and Commentary*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [8] Choi, Y.H., Kim, S.B., Ryu, D.S., and Kim, S.S. (2019) Structural Performance Evaluation of the Square-Shape Steel Column with Shear Connectors, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 31, No.3, pp.141-150 (in Korean).
- [9] KSSC (2016) *Design Manual of Composite Structures*, Goomiseogwan, Korea (in Korean).
- [10] Segui, W.T. (2013) *Steel Design* (5th Ed.), Cengage Learning, USA.
- [11] Salmon, C.G., Johnson, J.E., and Malhas, F.A. (2009)

- Steel Structures: Design and Behavior* (5th Ed.), Prentice Hall, USA.
- [12] Choi, Y.H., Kim, S.B., Baek, K.Y., and Kim, S.S. (2020) Seismic Performance Evaluation of the Connection Between the CFT Column with Built-up Square Shape Steel Tube (D-Column) and the HyFo Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.32, No.1, pp.43-53 (in Korean).
- [13] Lee, K., Sin, Y.S., and Son, E.J. (2015) Evaluation of Compressive Chord Plastification of Circular Hollow Section X-Joint Truss Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.5, pp. 447-454 (in Korean).
- [14] Architectural Institute of Japan (1990) *Recommendations for the Design and Fabrication of Tubular Structures in Steel*, AIJ, Japan (in Japanese).

---

**요 약**: 용접각형강관기둥의 용접상세에 따른 외다이아프램 접합부의 구조성능을 평가하기 위하여 외다이아프램 접합부의 인장실험을 진행하였다. 외다이아프램의 공칭강도는 기존설계식 및 용접각형강관기둥의 부분용입용접(PJP)의 유효목두께를 고려하여 수정한 식으로 산정하였다. 용접각형강관기둥의 용접상세가 그루브용접(CJP) 및 부분용입용접인 실험체의 최대하중의 비는 각각 1.35과 1.40으로 나타났다. 또한 보 플랜지와 외다이아프램이 이루는 각도를 고려하여 산정한 외다이아프램의 공칭강도에 대해 용접각형강관기둥의 용접상세가 부분용입용접인 실험체의 최대하중의 비는 1.25로 나타났다.

**핵심용어**: 용접각형강관기둥, 외다이아프램, 접합부, 용접상세, 구조성능

---