

상하 이형 다이아프램으로 보강된 2심 냉간성형 각형 CFT 기둥-보 접합부의 실험적 연구

오 헌 근¹⁾ · 김 선 희¹⁾ · 최 성 모^{2)*}

¹⁾ 박사수료, 서울시립대학교, 건축공학부 ²⁾ 교수, 서울시립대학교, 건축공학부

Experimental Study on Two-Seam Cold Formed Square CFT Column to Beam Connections with Asymmetric Diaphragms

Oh, Heon Keun¹⁾ Kim, Sun Hee¹⁾ Choi Sung Mo^{2)*}

¹⁾ Ph.D. Candidate, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, 130-743, Korea

²⁾ Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, 130-743, Korea

ABSTRACT : The concrete-filled tube column has the excellent structural performance. But it is difficult to connect with column and beam because of closed section. It suggests that pipe should be produced by welding two sides together where two shapes are joined after a channel is pre-welded onto the three sides in order to form an internal diaphragm. The upper diaphragm of the connection used the horizontal plate and the lower diaphragm used the Vertical plate. This research performed 6 monotonic tension experiments describing the connection upside and downside in order to evaluate the structural capability of the offered connection. And the cyclic loading experiment was performed about 2 T-Type column to beam connections. As to the experimental result edge cutting geometry, there was no big effect. An increase in the number of holes of the plate ultimate strength was increased by 5% and The thickness of the plate increases, the maximum strength was increased by 4%. T-Type connections until it reaches the plastic moment showed a stable behavior.

KEYWORDS : concrete filled tube(CFT), internal diaphragm, simple tension test, cyclic loading program, cold forming

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

콘크리트 충전강관(Concrete Filled Tube, CFT) 구조는 경제적이고 합리적인 구조시스템으로 인정되어 일본 등 선진외국을 중심으로 많은 연구가 진행되었으며, 현장적용이 활성화되고 있다. 또한, 국내에서도 우수한 구조성능과 시공성으로 인하여 점차적으로 많은 건설현장에 기둥부재로 적용되고 있

다. 근대들어 고강도 재료를 활용한 CFT기둥의 구조적 성능연구가 활발하게 이뤄지고 있는 추세이다^{[1],[2]}. 접합부의 시공성으로 인해 실무에서는 각형 CFT가 원형CFT보다 많이 사용되고 있는 실정이다.

CFT기둥-보 접합부 다이아프램은 크게 내다이아프램형, 외다이아프램형, 관통형다이아프램으로 구분할 수 있다. 이중 강관내부에 설치되는 내다이아프램은 최소의 강재사용량으로 보 플랜지 하중을 기둥과 반대편 보에 원활히 전달 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 내다이아프램 형식은 강관이라는 폐단면 특성 상 용접의 어려움이 있어 현장 적용에 불편함을 갖고 있다.

현재 국내에서는 CFT 기둥-보 접합부의 내다이아프램 형상을 상·하부 동일하게 처리하고 있다. 하지만 건물의 복잡화로 인하여 기둥에 연결된 각 보에 작용하는 하중이 상이한 경우 기둥에 연결되는 좌·우의 보의 크기가 다른 경우가 많다. 이에 따라 보의 하부 플랜지 높이에 차이가 생겨 Fig. 1

Note.-Discussion open until August 31, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 31, 2012; revised October 29, 2012; approved on January 18, 2013.
© KSSC 2013

* Corresponding author

Tel. +82-2-2210-2396 Fax. +82-2-2248-0382
E-mail: smc@uos.ac.kr

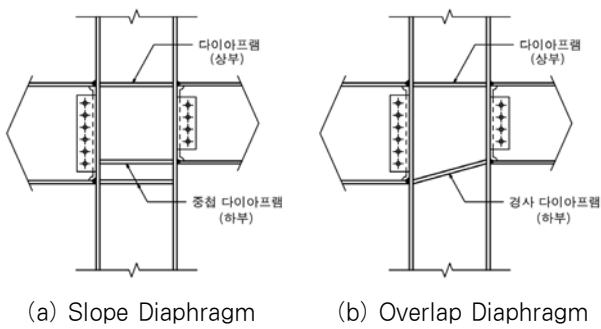


Fig. 1 Detail of According to Beam Depth

과 같이 내부 다이아프램이 여러겹으로 겹치게 되거나 경사지게 된다. 이로 인해 접합부 시공이 매우 복잡해지는 문제점을 발생 시킨다. 따라서 본 연구는 각형 CFT 기둥-보 접합부 개발의 일환으로 동일 다이아프램으로 제작한 후 ㄱ형태의 기둥부재를 용접하는 새로운 방식으로 제작된 상하 이형 내다이아프램의 접합상세를 제시하고 실험을 통해 구조적 성능을 검증하고자 한다.

실험은 접합부 상·하부를 각각 묘사한 6개의 단순인장 실험과 실대 크기인 2개의 T형 기둥-보 접합부에 대한 반복가력 실험을 수행하였다. 단순인장 실험은 기둥-보 접합부에서 인장력이 작용하는 부분을 강관기둥과 이상화한 보 플랜지만으로 단순화 시켜 접합부의 거동을 파악하기 위한 기초연구로 수행하였다. 또한, 단순인장 실험결과를 바탕으로 실제 모멘트-회전각 관계를 확인하기 위하여 2개의 실험체를 제작하여 반복가력 실험을 수행하였다.

1.2 기존연구

국내에서는 각형강관 접합부에 대한 연구가 1980년대 후반부터 시작되었으며, 김규석(1996)^[3]은 내다이아프램 접합부에 대한 단순인장 실험과 반복 재하실험을 실시하였고, 항복선 이론을 근거로 접합부의 내력을 평가하였다. 최성모(2003)^[4]는 Fig. 2와 같이 상부는 복합+자형 내다이아프램을 사용하고 하부는 각각 수평 T-bar와 스테드 볼트로 보강된 수직플레이트 형태의 상하 이형 다이아프램을 적용한 접합부를 제안하고 구조성능을 평가하였다. 그림 2(a)의 수평 T-bar는 보의 하부 플랜지의 압축하중을 수평플레이트 끝에 용접된 수직플레이트를 통해 콘크리트에 넓게 분산시키고, 인장하중을 수직플레이트의 앵커효과를 통해 저항하도록 계획하였다. 그림 2(b)의 수직플레이트를 사용한 접합부의 경우 플레이트에 부착된 스테드 볼트가 Fig. 2(a)의 수직플레이트와 비슷한 역할을 하도록 계획하였다. 반복가력 구조실험결과 콘크리트 충전성 확보를 위한 강관 기둥 개구부의 면적을 동

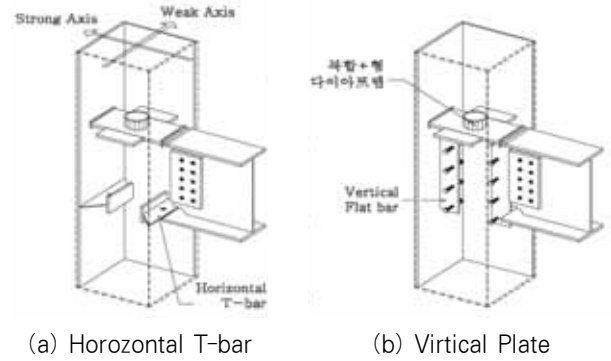


Fig. 2 Specimens of internal anchor type⁽⁴⁾

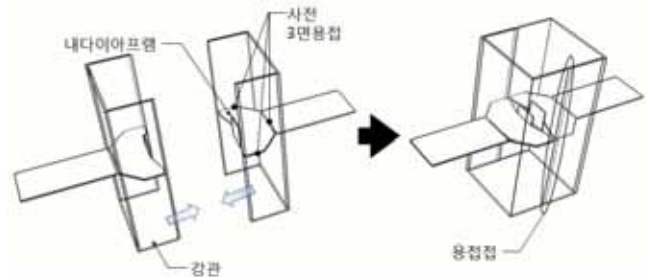


Fig. 3 Process of Production with 2 seam Square pipe

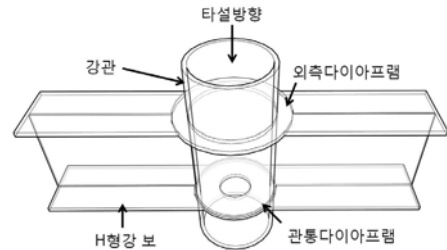


Fig. 4 Circular CFT Connection⁽⁹⁾

일하게 적용할 경우 복합십자형 다이아프램 접합형식은 기존 접합형식과 비교해 볼 때 초기강성 및 최대내력 면에서 동등 이상의 성능을 발휘하며 중간모멘트 골조의 비탄성 회전각에 해당하는 0.02rad를 확보하는 것으로 평가되고 있다. 또한 수직 플레이트에 스테드 볼트대신 홀을 가공한 유공판을 적용한 단순인장 실험이 소개되고 있으며 홀의 개수와 플레이트 두께를 변수로 인장력 평가가 이뤄졌다^[5].

최성모(2006)^{[6],[7],[8]}는 Fig. 3과 같이 프레스 성형 또는 절곡성형을 이용하여 ㄱ자 형강 2개를 제작한 후 미리 내다이아프램을 ㄱ형강에 용접한 후에 2개의 ㄱ형강을 용접하여 강관을 제작하는 방식으로 폐쇄형 단면이 갖는 내다이아프램 설치의 어려움을 해결하고자 하였다.

이명재(2011)^[9]는 원형CFT구조 접합부의 콘크리트 충전성을 개선하고자 상, 하부에 각각 다른 형식의 다이아프램을 적용시켜 실험과 유한요소 해석을 통해 구조성능을 평가하였다.

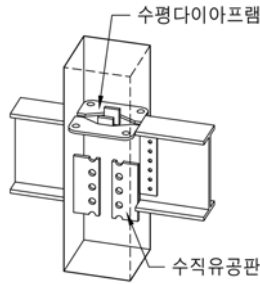


Fig. 5 Shape of Proposed Connection
(Detail of Asymmetric Connection)

Fig. 4와 같이 CFT구조 접합부의 상부 다이아프램은 외측다이아프램 형식이며, 하부 다이아프램은 관통다이아프램 형식으로 하였다. 연구결과, CFT구조의 내진성능은 상, 하부 모두 관통형 다이아프램을 적용한 접합부와 비교할 때 동등한 구조성능을 발휘한 것으로 평가되었다.

1.3 제안 접합 형상

내다이아프램의 형상은 상·하부 동일하게 적용하는 것이 일반적이나 본 연구에서는 제작성, 시공성 그리고 용접의 난이도를 개선한 접합방법을 제안하고자 한다. Fig. 5와 같이 미리 내다이아프램이 설치된 ㄱ형태의 부재 두 개를 용접하여 각형강관을 제작하는 방법을 제안한다.

상부 내다이아프램은 수평플레이트로 제안하였으며, 하부는 콘크리트 충전성을 고려하여 수직 유공판을 제안하였다. 상부의 수평플레이트는 콘크리트 충전강관 규준에서 제시하고 있는 최소개구율(15%, 건축강구조 표준접합상세지침^[10])을 만족하도록 한 것이다. 하부의 수직 유공판은 Fig. 4의 전단연결재와 비슷한 목적을 갖는 것으로 콘크리트 충전 후 플레이트의 구멍을 통해 콘크리트와의 합성효과를 향상시키기 위해 계획한 것이다. 앞서 본 연구실에서는 실험체 제작 이전에 다이아프램의 형상 결정을 위하여 이론식 비교 및 해석을 통해 파괴메커니즘을 예측하였다.

2. 단순인장 실험

2.1 실험체 계획

단순인장 실험체는 접합부의 상부와 하부를 각각 구분하여 계획하였다. 각 타입별로 3개씩 총 6개의 실험을 수행하였다. 실험체는 SM490강종의 □-400×400×12를 기둥으로 사용하였고 SS400강종의 PL-800×200×16을 사용하여 보 플랜지를 이상화하였다. 내다이아프램은 상·하부 모두 SS400

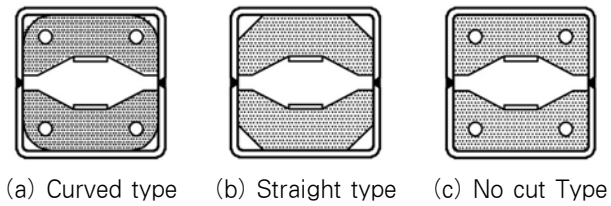


Fig. 6. Shape of Internal Diaphragm

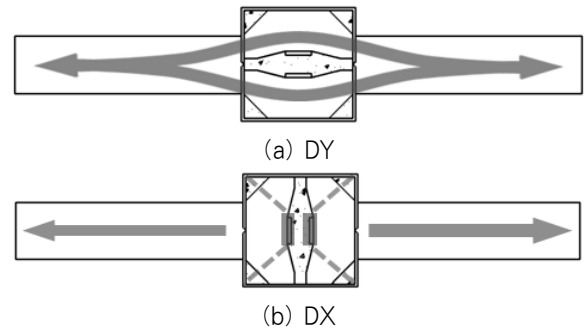


Fig. 7 Loading Axis and Details

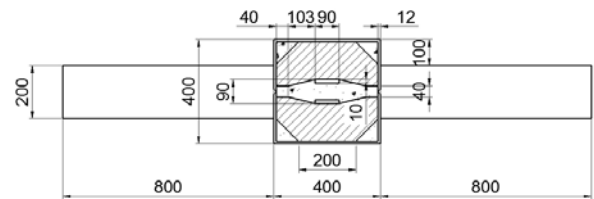


Fig. 8 Detail of Specimen (Upper)

Table 1. Specimens list (Upper)

실험체명	모서리 절삭형상			가력축	
	곡선	사선	무	약축	강축
TS-1	○			○	
TS-2		○			○
TS-3			○	○	

강종을 사용하였으며 형태와 두께 등은 각 실험체에 따라 변하는 변수로 설정하였다. 콘크리트는 충전성을 고려하여 고유동 콘크리트를 사용하였으며 28일 압축강도는 40MPa이다.

2.1.1 상부 실험체

상부 실험체의 주요 변수는 내다이아프램의 절삭형상과 가력축 방향이다. 내다이아프램의 모서리 절삭형상에 따른 응력 흐름을 비교하기 위해 Fig. 6과 같이 곡선, 사선, 무절삭 형상으로 계획하였다. 가력축은 보에서 전달되는 하중이 Fig. 7(a)와 같이 내다이아프램을 통해 전달되는 경우를 강축으로 정의하였고 Fig. 7(b)와 같이 기둥을 통해 전달되는 경우를 약축으로 정의하였다. 실험체 일람은 Table 1과 같고, 실험체 상세는 Fig. 8에 나타났다.

Table 2. Specimen list (Bottom)

실험체명	플레이트 두께(mm)		전단구멍 개수	
	16	22	3	4
SH-1	○		○	
SH-2	○			○
SH-3		○	○	

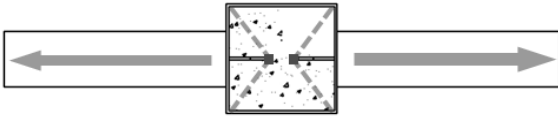


Fig. 9 Detail of Specimen (Bottom)

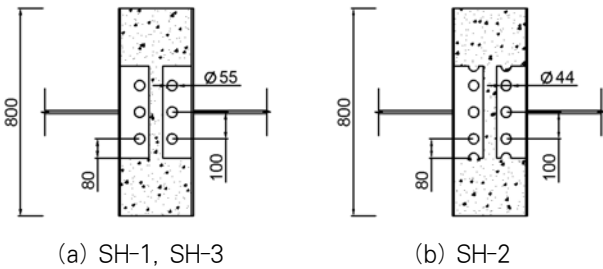
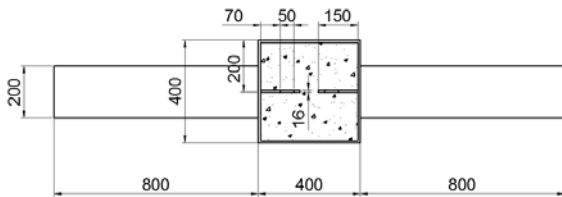


Fig. 10 Dimension of Specimens

2.1.2 하부 실험체

하부 실험체는 Fig. 9와 같이 수직 유공판을 사용하여 하중이 전달되는 것으로 실험의 주요변수는 유공판의 두께와 전단구멍의 개수이다. 유공판의 두께는 16, 22mm이며, 전단구멍의 개수는 3개, 4개이다. 전단구멍의 크기는 Ø55 이다. 실험체 일람은 Table 2와 같고, 실험체 상세는 Fig. 10에 나타내 있다.

2.2 실험체 제작 및 실험방법

실험체 제작 시 모든 용접은 E708 Φ1.8mm전극봉을 사용한 SMAW(Shielded Metal Arc Welding) 방식을 사용하였으며 한쪽 부재 끝부분의 용접을 양호하도록 하기 위하여 끝 단면을 비스듬히 절단하여 용접하는 맞댄 용접을 사용하였다. Table 3은 실험체 제작 순서이다.

실험체의 가력은 RIST(포항산업과학연구소)소재 3000kN 유압식 만능시험기(U.T.M)을 사용하여 최대내력 이후 파괴

Table 3. Process of Production

강판절곡	내다이아프램 설치	기둥용접 및 콘크리트타설



Fig. 11 Boundary Condition

모드가 확인될 때까지 0.016mm/sec의 변위제어로 가력하였다. 변위 측정은 600mm의 표점거리 사이에 변위계를 설치하여 축방향 변위를 측정하였고, 변형률 게이지(W.S.G)를 Fig. 11과 같이 설치하여 강판 및 보, 내다이아프램의 변형률 분포를 측정하였다.

2.3 소재실험결과

본 실험에서 사용된 강재의 기계적 성능을 파악하기 위하여 KS B 0801^[11] 및 KS B 0802^[12] 규준에 따라 각각 3개의 인장시험편을 절취하여 인장시험을 행하였다. 본 실험에 사용된 재료는 SS400의 16mm 강재와 SM490의 12mm 강재이다. 각 시험편의 결과를 Table 4에 나타냈다. 또한 콘크리트 공시체에 대한 7일, 14일, 28일 총 3번의 압축강도 시험을 행하여 Table 5와 같은 결과가 나왔으며 28일 콘크리트 압축강도는 42.7MPa로 확인하였다.

2.4 단순인장 실험결과

2.4.1 하중과 변위

상부 및 하부의 하중-변위 곡선은 Fig. 12와 같이 나타내었다. 상부 TS-2 실험체는 용접부 파괴로 인하여 예상한 최대내력까지 도달하지 못하고 실험이 종료되었지만 본 연구에서 가력축에 대한 초기강성 비교용으로 포함하였다.

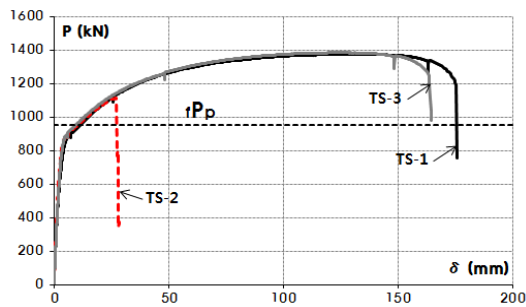
항복하중을 결정하기 위해 Fig. 13과 같이 하중-변위 곡

Table 4. Mechanical Property of Steel

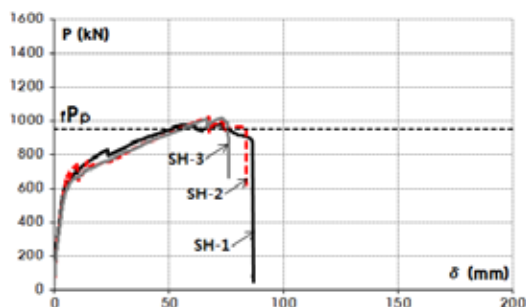
구분	강재 종류	시험체 시편		항복응력 Fy (MPa)	인장응력 Fu (MPa)	항복비 Fy/Fu (%)	연신율 (%)
강관	SM490	12mm	1	337	504	66.8	28.0
			2	331	507	65.3	27.5
			3	333	512	65.0	27.5
			평균	334	508	65.7	27.7
보 플랜지	SS400	16mm	1	292	412	70.8	30.5
2			304	432	70.3	31.5	
다이하프램			3	299	425	70.3	32.5
평균			298	423	70.4	31.5	

Table 5. Mechanical Property of Concrete

콘크리트 시험체	7일강도(MPa)	14일강도(MPa)	28일강도(MPa)
1	30.0	33.0	40.4
2	23.0	32.5	43.5
3	25.0	36.0	44.2
평균	26.0	33.8	42.7



(a) Load-Displacement Curve(Upper)



(b) Load-Displacement Curve (Bottom)

Fig. 12 Load-Displacement Curve

선의 초기 기울기의 직선과 초기 강성의 1/3 기울기 직선 교점에 해당하는 점을 항복하중으로 정의하였다. 보 플랜지 전단면적이 항복하는 하중인 전소성하중(rP_p)은 보 플랜지의 소재시험결과에 단면적을 곱한 값인 953.6kN으로 하였다.

본 실험에서 얻어진 부재의 항복하중, 최대하중과 초기강성을 Table 6에 나타내었다.

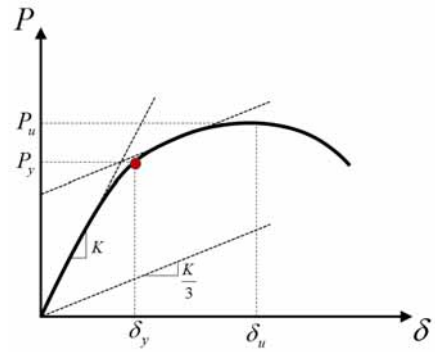


Fig. 13 Method of Yield Strength

Table 6. Load and Initial Stiffness of Specimens

실험체		초기강성 (kN/mm)	항복하중(kN)	최대하중(kN)
상부	TS-1	230	538	1375
	TS-2	286	640	1114
	TS-3	245	594	1384
하부	SH-1	142	246	976
	SH-2	145	271	1020
	SH-3	134	223	1014

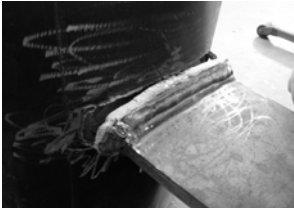
2.4.2 파괴유형

각 실험체의 파괴유형은 보 플랜지 인장 파괴, 보 플랜지와 기둥 접합면 파괴, 보 플랜지와 기둥 용접부위 파괴 등 3가지 파괴 유형을 나타내었고, 실험체에 대한 파괴유형은 Table 7에 나타냈다.

상부 접합부의 경우 TS-1 실험체는 가력 시 1375kN에서 보 플랜지가 necking현상을 보이며 보 플랜지 파단이 일어나 실험이 종료되었다. TS-2 실험체는 가력 시 1114kN에서 보 플랜지와 기둥면의 용접부위가 파괴되면서 실험이 종료되었다. TS-3 실험체는 가력 시 1384kN에서 보 플랜지가 necking현상을 보이며 보 플랜지 파단이 일어나 실험이 종료되었다.

하부 접합부의 경우 SH-1 실험체는 하중이 620kN일때 소리가 나면서 내력이 다소 떨어지는 현상을 보였으나 최종적으로 976kN에서 최대내력을 발휘한 후 보 플랜지와 기둥이 맞닿는 면이 찢어지면서 실험체가 파괴가 되었다. SH-2 실험체는 731kN일때 소리가 나면서 내력이 다소 떨어지는 현상을 보였으나 최종적으로 1020kN에서 최대내력을 발휘한 후 SH-1 실험체와 같은 파괴유형을 나타내었다. SH-3 실험체는 SH-1, SH-2 실험체와 달리 하중감소 없이 지속적으로 내력이 증가하였다. 1014kN에서 최대내력을 발휘한 후 SH-1 실험체와 같은 파괴유형을 나타내었다.

Table 7. Failure Mode

파괴유형	실험체
	SH-1, SH-2, SH-3 (보 플랜지와 기둥 접합면 파괴)
	TS-2 (보 플랜지와 기둥 용접부위 파괴)
	TS-1, TS-3 (necking 현상에 의한 보 플랜지 인장파괴)

2.5 분석 및 고찰

상부 접합부의 경우 모서리 절삭 형상에 따른 실험체의 초기강성 및 최대내력의 차이는 미비 하였으며 가력축에 따른 초기강성의 차이는 강축 방향 실험체인 TS-2가 약축 방향 실험체인 TS-1과 TS-3보다 다소 높게 나타났다. 하부 접합부의 경우 SH-1, SH-2, SH-3 실험체의 초기강성은 유사 하게 나타났으며 최대내력은 전단구멍 개수를 늘린 SH-2 실험체가 가장 높게 나타났다. 수직 유공판 두께를 늘린 SH-3 실험체 역시 최대내력은 SH-1보다 다소 높게 나타났다.

3. CFT 기둥-보 접합부 반복가력 실험

3.1 실험체 계획

기둥-보 접합부의 단순인장실험 결과를 바탕으로 실제 모멘트-회전각 관계를 확인하기 위하여 Fig. 14와 같이 상부 다이어그램의 가력축 방향을 변수로 두어 약축을 DX, 강축을 DY로 한 2개의 실험체를 계획하였다. 단순인장 실험 시 상부는 모서리 절삭 형상과는 무관한 거동을 보였으나 곡선이 응력흐름에 유리할 것으로 판단되어 곡선절삭 형상으로 계획하였으며 하부는 구조적 성능 및 경제성을 고려하여 수직 유공판 두께를 16mm, 전단구멍 개수를 4개로 계획하였다. 실험체 제작에 사용된 부재는 단순인장 실험체와 같으며

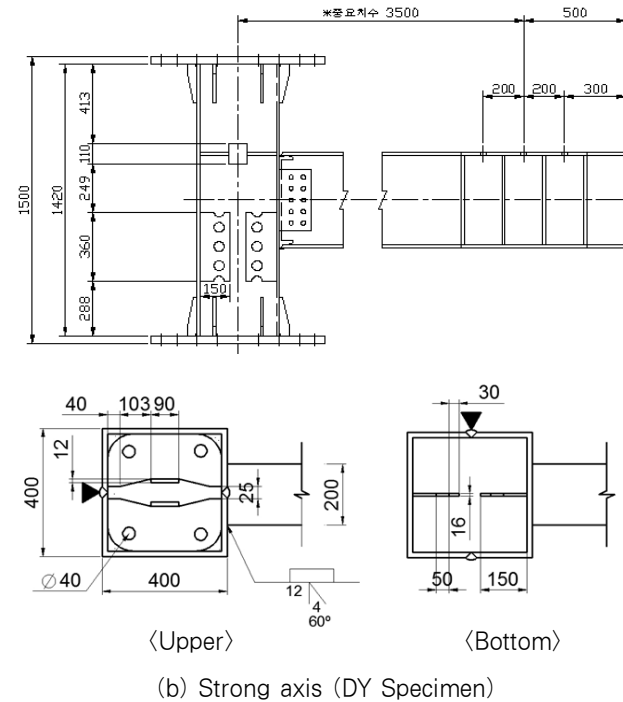
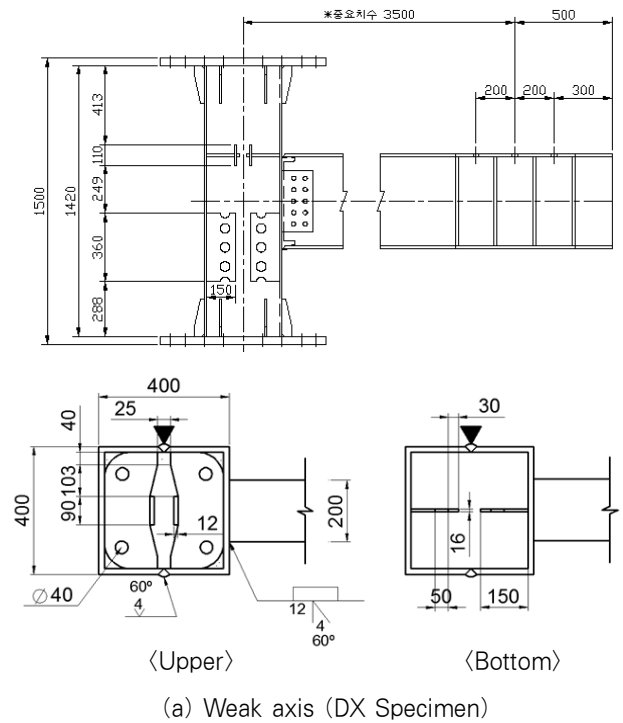


Fig. 14 Detail of Connection Specimen

보 부재는 SS400강종의 H-500×200×10×16이다.

3.2 가력 및 측정방법

실험체는 반력벽과 반력바닥을 이용하여 Fig. 15와 같이 설치하였다. 기둥 상·하단을 반력벽에 힌지상태로 연결하고,

가력 끝단에 상·하 반복가력이 가능한 2000kN용량의 Actuator를 부착하였다. 가력 시 보의 횡좌굴을 방지하기 위하여 가력 끝단에 횡가새를 설치하였다. 가력 프로그램은 Seismic Provisions For Structural Steel Building (2002)^[13]의 S 6.2 Loading Sequence for Beam-to-Column Moment Connection에 의해 Fig. 16과 같이 가력하였다. 하중가력방식은 증간변위각이 0.00375, 0.005, 0.0075일때 각각 6 사이클, 0.01일때는 4 사이클, 0.015 이후로는 2사이클씩 연속해서 가력하며 0.03 이후에는 파괴될 때까지 2사이클마다 0.01씩 증가한다.

실험체의 전체적인 거동을 측정하기 위하여 변위계는 Fig. 17과 같이 설치하였고 변형도를 측정하기 위하여 응력집중이 예상되는 위치에 1축 게이지를 Fig. 18과 같이 부착하였다.

3.3 소재실험결과

본 실험에서 사용된 강재의 기계적 성능을 파악하기 위하여 KS B 0801^[11] 및 KS B 0802^[12] 규준에 따라 강관, 보 웹, 보 플랜지, 상·하 내다이아프램 및 수직 플레이트에서 인장시험편을 절취하여 인장시험을 수행하였으며 콘크리트 공시체에 대한 28일 압축 강도 시험을 하였다. 소재실험 결과는 Table 8과 같다.



Fig. 15 Boundary Condition of Connection Experiment

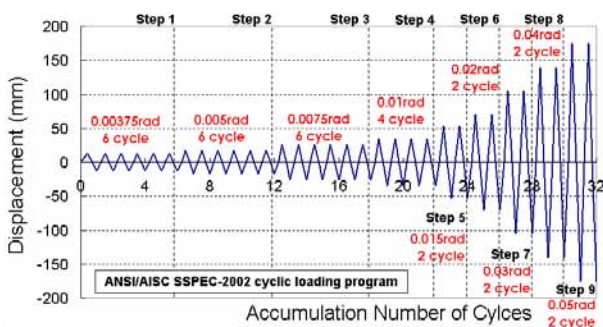


Fig. 16 Loading Program^[11]

3.4 실험결과

3.4.1 DX 실험체

상하 이형 약축인 DX 실험체는 3step (0.0075rad) 5 cycle에서 탄소성 거동을 보였다. 9step (0.05rad) 에서 보 플랜지와 기둥면이 파괴되어 실험을 종료하였다. Fig. 19는 DX 실험체의 모멘트-회전각 곡선이다. Mp는 보의 소성모멘트(512kN-m)를 나타내며 My는 항복모멘트(448kN-m)를

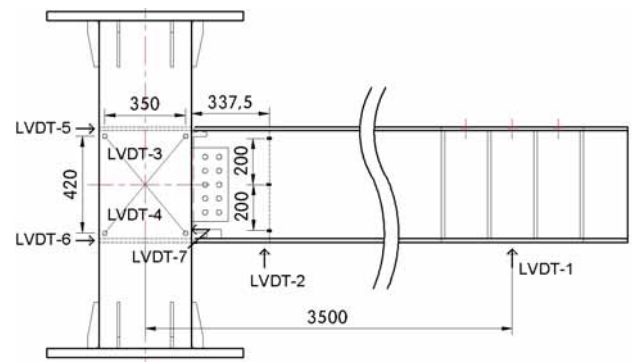


Fig. 17 Location of LVDT

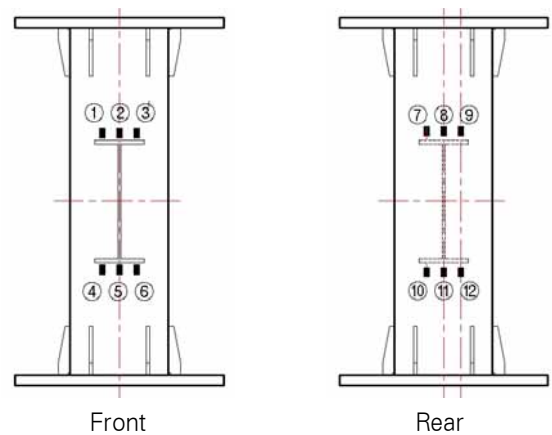


Fig. 18 Location of Gauge

Table 8. Results of material Property

구분	강종	두께 (mm)	항복응력 Fy (MPa)	인장응력 Fu (MPa)	항복비 Fy/Fu (%)
강관	SM 490	12	332	443	75
보 웹	SS 400	10	315	440	72
보 플랜지		16	297	435	68
상부 내다이아프램 하부 플레이트		16	340	437	78
수직 플레이트		12	300	451	67

콘크리트 28일 압축강도 : 42MPa

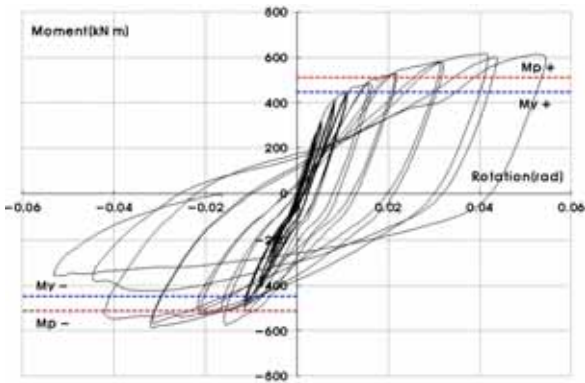


Fig. 19 Moment-Angle of Rotation of DX

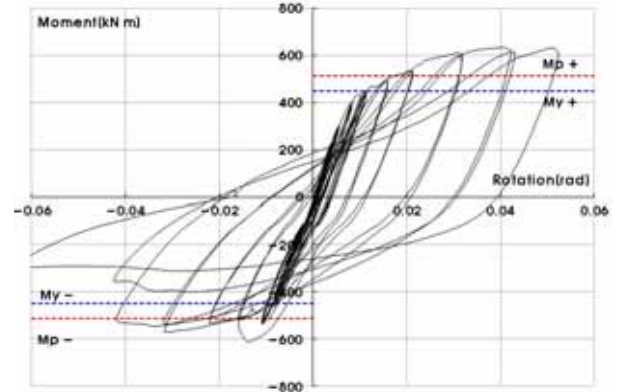


Fig. 21 Moment-Angle of Rotation of DY



(a) 7step(0.03rad) (b) 8step(0.04rad) (c) 9step(0.05rad)

Fig. 20 Step by step main picture (DX)



(a) 6step(0.02rad) (b) 8step(0.04rad) (c) 9step(0.05rad)

Fig. 22 Step by step main picture (DY)

나타낸다. M_p 를 각 모멘트내력과 비교하면 상부인장시 (577.5 kN-m) 13%이상 평가되었으며, 상부 압축시 (549.5kN-m) 7% 상위한 결과를 나타내고 있다.

3.4.2 DY 실험체

상하 이형 강축인 DY 실험체는 3step(0.0075rad) 2 cycle에서 탄소성 거동을 보였다. 8step(0.04rad) 2cycle에서는 절곡된 기둥 모서리 면이 파괴되었고 9step(0.05rad)에서 보 플랜지와 기둥 접합면이 파괴되어 실험을 종료하였다. Fig. 21은 DY 실험체의 모멘트-회전각 곡선이다. 위와 동일한 방법으로 M_p (512kN-m)를 각 정·부 모멘트 내력과 비교하면, 상부 인장시 최대 모멘트력은 612kN-m로 약 19% 이상평가되었다. 상부 압축시 최대 모멘트력은 560kN-m로 M_p 대비 9% 이상의 내력을 나타냈다.

3.5 분석 및 고찰

3.5.1 초기강성 및 최대하중

Fig. 23은 각 실험체의 내력과 강성을 비교하기 위하여 구한 단조화 곡선이다. P_p 는 소성하중을 나타내며 P_y 는 항복하중을 나타낸다. 초기강성은 DY 실험체가 DX 실험체보다 상부 인장 시 7%, 하부 인장 시 11% 높게 나타났으며 최대하중은 DY 실험체가 DX 실험체보다 상부 인장 시 6%, 하부

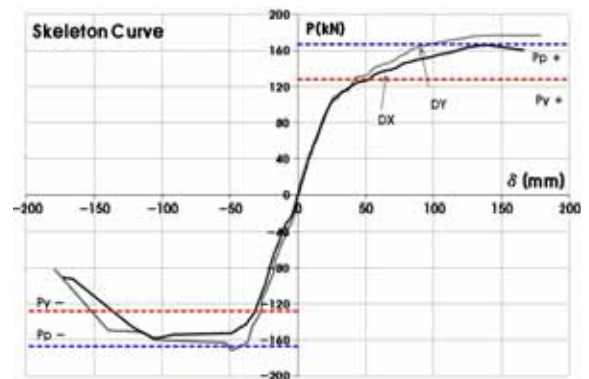


Fig. 23 Skeleton Curve

Table 9. Initial Stiffness and Load of Connection Experiment

실험체		항복변위 (mm)	항복하중 (kN)	최대하중 (kN)	초기강성 (kN/mm)	파괴모드
DX	상부	18.0	91.5	165	4.73	기둥면 파괴
	하부	27.6	127.5	157	4.12	
DY	상부	21.0	99.3	175	5.07	기둥면 파괴
	하부	35.9	151.5	160	4.61	

인장 시 1% 높게 나타났다. 이는 축에 따른 영향이라 판단된다.

각 실험체의 하중-변위 관계를 파악하기 위하여 초기강성 기울기를 갖는 직선과 초기강성 기울기의 1/3인 직선을 평행

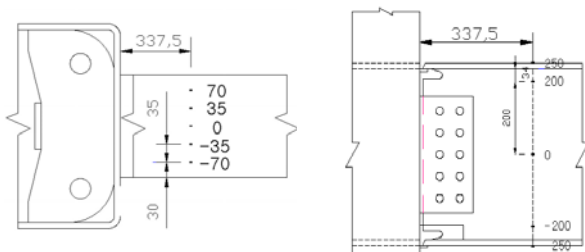


Fig. 24 Location of Strain Gauge

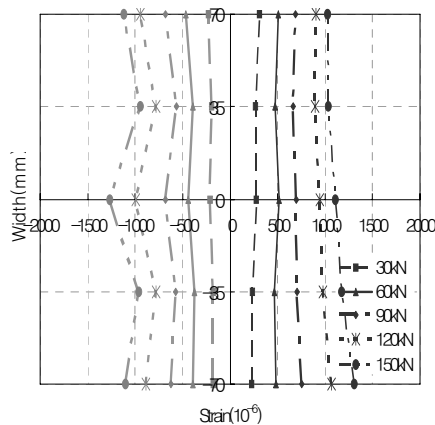


Fig. 25 Strain Distribution of DX with Upper flange

이동시켜 두 직선의 교점을 항복하중 P_y 로 정하였고, 이때의 처짐을 항복변위 δ_y 로 정한다. Table 9는 각 실험체별 항복하중, 항복변위, 최대하중 및 초기강성을 나타낸 결과이다.

3.5.2 하중 단계별 변형률 분포

각 실험체는 단조화 곡선을 통하여 구한 하중-변위 곡선을 통하여 보의 전체적 거동을 파악하기 위해 Fig. 24와 같이 보 플랜지 및 웨브에 부착된 변형률 게이지의 측정값으로부터 변형률 분포를 비교하였다.

DX 실험체의 상부 인장 시 Fig. 25와 같이 보 플랜지 상부의 변형률 분포를 보면 인장 및 압축부분에서는 보 플랜지 전단면에 걸쳐 하중이 고르게 들어감을 알 수 있다.

Fig. 26과 같이 보 웨브와 보 플랜지의 관계는 안정적인 거동을 보여주고 있다. 하부 인장 시 Fig. 27과 같이 보 플랜지 하부의 변형률 분포를 인장 및 압축부분에서 보 플랜지 전단면에 걸쳐 변형이 고르게 분포하고 있으나, 압축부분에서 보 플랜지 중앙의 변형이 양단부보다 크다는 것을 확인하였다.

DY 실험체의 경우 상부 인장 시 Fig. 28과 같이 보 플랜지 상부의 변형률 분포를 보면 인장부분에서는 120kN까지 보 전단면에 균등히 분포하고 있으나 150kN부터 보 중앙이 보 양단부보다 집중되는 것을 확인할 수 있으며, 압축부분에

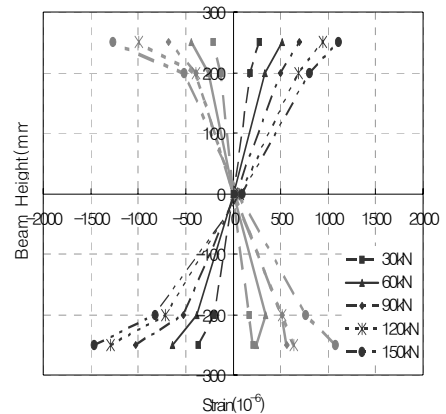


Fig. 26 Strain Distribution of DX with flange and web

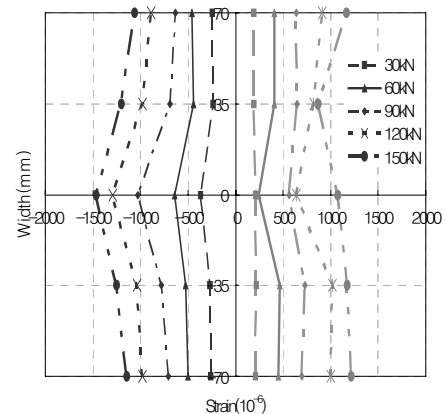


Fig. 27 Strain Distribution of DX with Bottom flange

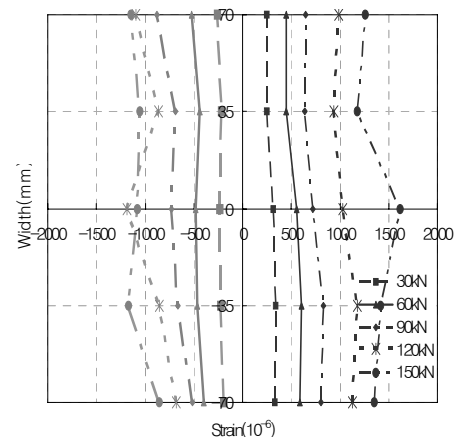


Fig. 28 Strain Distribution of DY with Upper flange

서는 120kN까지는 보 플랜지에 균등히 분포하였으나 150kN에서는 보 양단의 변형률이 더 적게 발생하였다. Fig. 29와 같이 보 웨브와 보 플랜지의 관계는 안정적인 거동을 보여주고 있다. 하부 인장 시 Fig. 30과 같이 압축부분은 보 플랜

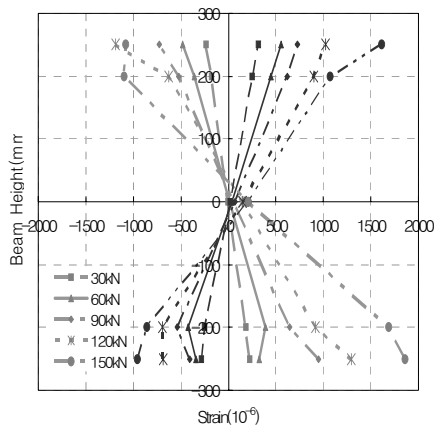


Fig. 29 Strain Distribution of DY with flange and web

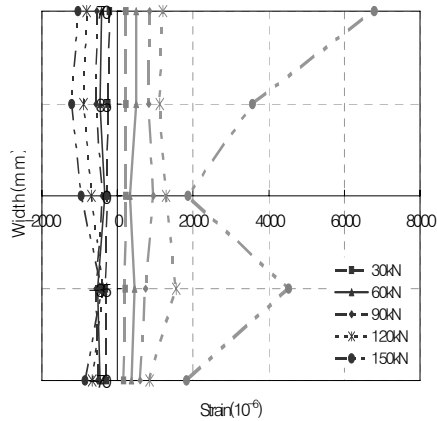


Fig. 30. Strain Distribution of DY with Bottom flange

지 한쪽 단부의 변형이 크게 발생하는 것을 확인하였고, 인장 부분에서는 150kN에서 보 플랜지의 변형이 크게 발생하는 것을 확인하였다. 이는 하부 플랜지가 인장력을 받을 때 발생하는 응력을 충분히 반대편까지 도달되지 못한 것으로 추정되며 극한 내력이 하부에 발생될 구조물에 있어서는 추가적인 보완계획이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서 제안한 CFT기둥-보 접합부의 상하 이형 내 다이아프램에 대한 단순인장 실험과 CFT 기둥-보 접합부의 반복가력 실험을 수행한 후 분석 및 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상부 다이아프램 단순인장 실험결과 모서리 절삭 형상에 따라서 초기강성 및 최대내력의 차이가 미비하였지만, 가력 방향에 따라서는 강축방향이 약축방향보다 초기강성이

16~24% 높은 것으로 나타났다.

- (2) 수직 유공판 단순인장 실험결과 전단구멍개수에 대하여 최대내력이 5% 증가하였으며, 수직 유공판 두께에 대해서는 최대내력이 4% 증가하였다. 초기강성은 유사하게 나타났다.
- (3) CFT 기둥-보 접합부 반복가력 실험에 있어 가력축을 변수로 한 DX 실험체와 DY 실험체는 축에 따른 내력 차이가 크지 않음을 확인하였다.
- (4) 반복가력 실험결과 모든 실험체는 0.04rad 2Cycle에서부터 내력이 떨어졌지만, 0.03rad까지 안정적인 거동을 나타내고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2단계두뇌한국21 사업인 “초고층 건축물의 고효율 생산 및 방재기술 개발” (핵C6A2204)에 대한 지원으로 이루어졌으며, 지식경제부 전력산업융합원천 기술개발사업인 “복합소재와 제진장치를 이용한 발전소 철골구조물의 최적 내진보강기법 개발” (20111020100040) 지원으로 이루어졌으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌(References)

- [1] 김창수, 박홍근, 최인락, 정경수, 김진호(2010) 800MPa 강재 및 100MPa 콘크리트를 적용한 매입형 합성기둥의 구조성능, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제5호 pp.497-509.
Kim, C.S., Park, H.G., Choi, I.R., Chung, K.S., and Kim, J.H. (2010) Structural Performance of Concrete-encased Steel Columns using 800MPa Steel and 100MPa Concrete, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No. 5, pp.497-509 (in Korean).
- [2] 최인락, 정경수, 김진호, 홍건호(2012) 이중강관을 사용한 고강도 CFT 합성부재의 구조성능, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제6호, pp.711-723.
Choi, I.R., Chung, K.S., Kim, J.H., and Hong, G.H. (2012) Structural Performance of High-Strength Concrete-Filled Steel Tube Steel Columns using Different Strength Steels, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 24, No.6, pp.711-723 (in Korean).
- [3] 김규석, 심종석, 한덕전, 최성모(1996) 콘크리트 충전 각형강관기둥-H형강보 접합부의 탄소성 거동에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 대한건축학회, 제16권, 제1호, pp.417-421.
Kim, K.S., Shim, J.S., Han, D.J., and Cho, S.M. (1996)

- An Experimental Study on the Elasto-Plastic Behavior of Concrete-Filled Steel Square Tubular Column to H-Beam Connections, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, AIK, Vol. 16, No. 1, pp.417-421 (in Korean).
- [4] 최성모, 윤여상, 김요숙, 김진호(2003) 이형 하부다이아프램으로 보강된 각형 CFT 기둥-보 접합부의 내진성능에 관한 연구, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제15권, 제5호, pp.579-589.
- Choi, S.M., Yun, Y.S., Kim, Y.S., and Kim, J.H. (2003) A Study on Seismic Performance for CFT Square Column-to-Beam Connections Reinforced with Asymmetric Lower Diaphragms, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 15, No. 5, pp.579-589 (in Korean).
- [5] 이성희 정현모 양일승 최성모(2009) 내부 유공관을 사용한 각형 CFT기둥-보 단순인장 접합부의 실험적 연구, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제21권, 제6호, pp.575-583.
- Lee, S.H., Jung, H.M., Yang, I.S., and Choi, S.M. (2009) An Experimental Study on Simple Tension Connections for Square CFT Column to Beam Using Internal Plate with Holes, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 21, No. 6, pp.575-583 (in Korean).
- [6] 박찬면, 이광호, 이성희, 박용욱, 최성모(2006) 2심으로 제작된 각형강관 내다이아프램 접합부 개발에 관한 연구, 2006년도 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 대한건축학회, 제26권, 제1호, pp.289-292.
- Park, C.M., Lee, K.H., Lee, S.H., Park, Y.W., and Choi, S.M. (2006) Study on Square Tubular internal diaphragm connection development with two-seam, *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 26, No. 1, pp.289-292 (in Korean).
- [7] 최성모(2006) 중약진 지역인 우리나라에 적합한 보-기둥 접합부 개발에 관한 연구 -CFT를 중심으로-, 연구보고서 pp.1-255.
- Choi, S.M. (2006) *A Research on Column-to-Beam Connection suitable in region of weak or moderate earthquake -In CFT connection-*, Research Report, pp.1-255 (in Korean).
- [8] Choi, S.M., Sang, Y.Y., Kim, D.K., Kim, Y.S., and Kim, J.H., (2006) Experimental study on seismic performance of concrete filled tubular square column-to-beam connections with combined cross diaphragm, *Steel & Composite Structure*.
- [9] 박민수, 김희동, 이명재(2011) 충전성을 개선한 원형 CFT구조의 기둥-보 접합부 구조적 거동, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제23호, 제6호, pp.737-745.
- Park, M.S., Kim, H.D., and Lee, M.J. (2011) Structural Behavior of Beam-to-Column Connections of Circular CFT Structures Improving Concrete Filling, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 23, No. 6, pp.737-745 (in Korean).
- [10] 한국강구조학회(2012) 건축 강구조 표준접합상세지침. Korea Society of Steel construction (2012) Standard Details for Connection (Architecture Steel Structural) (in Korean).
- [11] KS B 0801 (2007) 금속재료 인장시험편, 산업자원부 기술 표준원.
- KS B 0801 (2007) *Test Pieces for Tensile test for Metallic Materials*, Korea Agency for Technology and Standards (in Korean).
- [12] KS B 0802 (2003) 금속재료 인장시험방법, 산업자원부 기술표준원.
- KS B 0802 (2003) *Method of Tensile test for metallic Materials*, Korea Agency for Technology and Standards (in Korean).
- [13] AISC (2005) *Seismic provisions for structural steel buildings*, American Institute of Steel Construction.

요 약 : 콘크리트 충전강관 기둥은 우수한 구조성능에도 불구하고 폐단면이라는 특성 상 내다이아프램 형태의 접합부 제작이 어려워 시공성에 다소 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 미리 내다이아프램이 설치된 ㄷ형태의 부재 두 개를 용접하여 각형강관을 제작하는 방법을 제안한다. 접합부의 상부 다이아프램은 수평플레이트를, 하부는 수직 플레이트를 사용하였다. 본 연구는 제시된 접합부의 구조적 성능을 평가하기 위해 접합부 상·하부를 6개의 단순인장 실험과 실대 크기인 2개의 T형 기둥-보 접합부에 대해 반복가력 실험을 수행하였다. 단순인장 실험에서의 주요변수는 상부 다이아프램의 형태와 가력방향이며 하부 다이아프램은 수직 플레이트의 두께와 구멍 개수이고, 실대형 접합부의 변수는 가력방향이다. 실험결과 모서리 절삭형태는 큰 영향이 없었으며 강축방향이 약축방향보다 초기강성이 16~24% 높았다. 수직 플레이트의 구멍개수와 두께가 증가함에 따라 최대내력이 각 약 5% 증가하였다. 실대형 T형 접합부의 가력축에 따른 내력 차이는 크지 않았으며 보의 전소성모멘트에 도달할 때까지 안정적인 거동을 나타냈다.

핵심용어 : 콘크리트충전 강관, 내다이아프램, 단순인장실험, 반복가력, 냉간성형