

이형 하부다이아프램으로 보강된
각형 CFT 기둥-보 접합부의 내진성능에 관한 연구

A Study on Seismic Performance for CFT Square
Column-to-Beam Connections Reinforced with Asymmetric
Lower Diaphragms

최성모* 윤여상** 김요숙*** 김진호****
Choi, Sung-Mo Yun, Yeo Sang Kim, Yosuk Kim, Jin-Ho

ABSTRACT

Most of existing beam-to-column connections are reinforced symmetrically because of reverse action cause by earthquake but in the weak-earthquake region like Korea connections reinforced asymmetrically can be used. Specially, the connections between CFT(Concrete Filled Tube) column and H-shape beam can be applied by simplified lower diaphragm. The tensile capacity of Combined Cross Diaphragm for upper reinforcing was tested by simple tension test and four types for lower reinforcing; Combined Cross, None, Horizontal T-bar and Vertical Plate were tested by ANSI/AISC SSPEC 2002 loading program. Horizontal T-bar and stud bolts in vertical flat bar transmit tensile stress from bottom flange of beam to filled concrete. All test specimens were satisfied 0.01 radian of inelastic rotational requirement in ordinary moment frame of AISC seismic provision. As the results of parametric studies, simplified lower diaphragms demonstrated an outstanding strength, stiffness and plastic deformation capacity to use sufficient seismic performance in the field.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

콘크리트충전 강관(Concrete Filled Tube, CFT)구조는 경제적이고 합리적인 구조시스템으로

* 서울시립대학교 건축공학과, 조교수

** 서울시립대학교 건축공학과, 석사과정

*** 포항산업과학연구원 강구조연구소 선임연구원 공학박사

**** 포항산업과학연구원 강구조연구소 책임연구원 공학박사

인정되어 일본 등 선진외국을 중심으로 많은 연구가 진행되었으며, 현장적용이 활성화되고 있다. (김동규,1996,1999) 일본에서 개발된 접합부의 상세들은 강진에 견딜 수 있도록 개발되었으므로, 우리나라와 같은 중·약진지역에서 바로 적용하기에는 과다하게 설계되어 비경제적이라 할 수 있다. 또한, 현재 건설되는 건물들은 점점 다양화되고 내부 상세들이 복잡화되어가는 추세이므로 각 연결부재의 접합부상세가 필요한 실정이다. 그러나, 한국강구조학회 및 대한건축학회에서의 설계 및 시공 지침과 매뉴얼(김동규,2000) 등에서도 다양한 기둥-보 접합부 형식에 대한 상세 제안이 없는 상태이다.

CFT 기둥-보 접합부의 보강방법으로 상·하부를 동일하게 처리하고 있는데, 현재에는 건물의 복잡화로 인하여 기둥에 연결된 각 보에 작용하는 하중이 다르게 되어 하중에 저항하기 위한 보 굵이 달라진다. 이에 따른 하부 플랜지 높이에 차이가 생겨 그림 1과 같이 내부 다이아프램이 여러 겹으로 겹치게 되거나 다이아프램이 경사지게 된다. 이것은 접합부 시공이 복잡해지고 콘크리트 충전성이 낮아지는 문제점을 발생시킨다. 따라서, 본 연구는 각형 CFT 기둥-보 접합부의 국내 현장적용을 위한 다이아프램 개발의 일환으로 제작성과 시공성이 확보되며 연성능력이 잘 발휘되는 접합상세를 구축하기 위한 자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구방법

본 연구는 콘크리트충전 각형강관 기둥-보 접합부의 거동파악을 위한 기초단계로, 1차적으로 반복가력시 CFT 기둥-보 접합부에서 인장력이 작용하는 보플랜지만을 이상화한 인장축에 대하여 인장실험을 실시하여 인장거동을 파악하고, 그 결과를 접합부에 확장 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 또한 인장 실험결과를 기초로 하여 수평하중이 작용할 경우 기둥-보 접합부에 대한 구조적 거동을 파악하기 위해 기둥-보 접합부 시험체를 계획했다. 기둥-보 접합부 실험체는 중·약진지역에서의 하부플랜지에 대한 내진성능평가를 통해 구조적 거동을 알기 위하여 미국에서 제시하는 ANSI/AISC SSPEC-2002 반복하중 프로그램(AISC,2002)을 준용한 입체적인 실대실험을 수행하였으며 하부 접합부의 거동을 이해하기 위해 파라메타 스터디를 하였다.

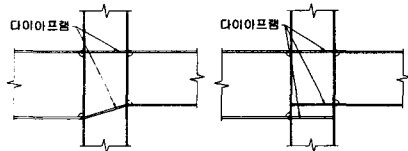


그림 1. 보 굵의 차이에 따른 다이아프램 상태

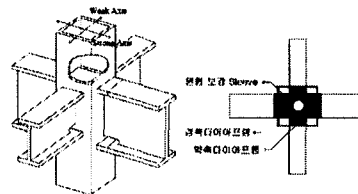


그림 2. 복합십자형 다이아프램

1.3 제안 접합 형식

본 연구에서는 세 가지 접합형식을 제안하였다. 첫 번째 접합형식은 강진지역에서도 사용가능하도록 내진성능이 검증된 복합십자 슬리브삼입형이다. 이것은 강진지역에서의 접합부 성능과 비교를 위한 실험체로써 기존의 접합형식보다 응력전달을 명쾌하게 하며, 접합부가 충분한 연성거동을 할 수 있도록 고안하였다. 또한 골조에 작용하는 하중의 비대칭성을 고려할 수 있도록 하였다. 즉, 상대적으로 큰 하중을 받는 강축 힘에 대한 인장축은 기둥으로부터 다이아프램을 관통시켜 보 플랜지와 연결하고, 상대적으로 작은 하중을 받는 약축 힘에 대한 인장축은 기둥내부에 다이아프

램을 삽입하도록 하는 복합십자형 다이아프램 방식이다. 두 번째로 기둥-보 접합부의 하부를 보강하기 위한 방식으로 현장에서의 시공성과 콘크리트의 충전성을 고려한 수평형(HT:Horizontal T-bar)과 수직형(VP:Vertical Plate) 접합부를 제안하였다. 수평형은 하부 압축시 보플랜지면으로 가해지는 응력을 사다리꼴 모양의 수평 Plate 끝에 용접된 수직 Plate를 통해 콘크리트에 분산시켰고, 하부 인장시는 보플랜지 인장력을 T-bar 형태의 보강판이 앵커역할을 함으로써 코어 콘크리트에 전달한다. 수직형은 하부 인장시 수직 plate에 일정한 간격으로 용접된 stud bolt가 콘크리트에 구속됨을 통해서 보플랜지로부터 작용하는 인장력을 견딜 수 있도록 한 실험체이다.

2. 반복가력실험

2.1 시험체계획

본 연구에서 사용한 실험체의 상부 접합형식은 기존의 접합형식보다 응력전달을 보다 명쾌하게 하며, 접합부가 연성거동을 할 수 있도록 설계하였다. 또한 골조에 작용하는 하중의 비대칭성을 고려할 수 있도록 하였다. 즉, 상대적으로 큰 하중을 받는 강축 힘에 대한 인장축은 기둥으로부터 다이아프램을 관통시켜 보플랜지에 연결하고, 상대적으로 작은 하중을 받는 약축 힘에 대한 인장축은 기둥내부에 다이아프램을 삽입하도록 하는 복합십자형 다이아프램 방식이다. 하부 접합형식은 인장이 발생하지 않을 수도 있으므로 하부측에 압축력을 받을 수 있도록 한 세 가지 접합형식을 제안하였다. 또한, 보강형태는 과도한 지진하중의 발생으로 접합부 하부측에 인장력이 발생하는 경우를 감안하여 인장력을 내부 콘크리트에 전달하기 위해 강관 내면에 스티드볼트와 매설철판(embedded plate)등 보조 철물을 부착한 접합형식이다.

실험체 제작에 사용된 기둥은 SM490의 □-400x400x12, 보는 SS400의 H-500x200x10x16이며, 강관내부는 충전성을 고려하여 설계기준 강도 500kg/cm²인 고유동콘크리트를 사용하였다.

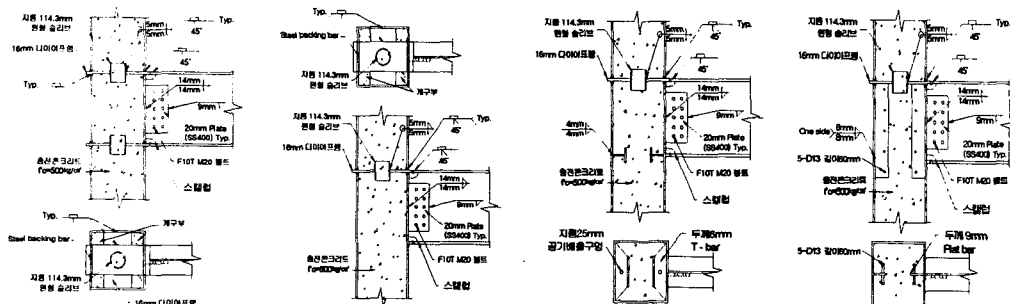


그림 3. 복합십자형 슬리브 삽입형 (CDS) 그림 4. 복합십자형 하부 부보강 (CDSN) 그림 5. Horizontal T - bar (CDST) 그림 6. Vertical Flat - bar (CDSV)

그림 3에서 6는 각 실험체의 상세도를 나타내고 있다. 각 실험체의 상부는 폭 200mm의 다이아프램이 강관을 관통한 강축과 폭200mm인 다이아프램을 십자로 용접한 약축으로 구성된 다이아프램 형식이며, 두께16 mm, 지름이 114.3mm, 두께 6mm, 길이 130mm인 원형 Sleeve가 중앙에 삽입되어 있으며 개구율은 슬리브삽입으로 인해 28.4%로 하였다. CDS는 복합십자형 다이아프램 형식을 상·하부에 동일한 형태를 취한 실험체이며, CDSN은 우리나라가 중·약진 지역임을 감안하여 플랜지 하부 압축시 다이아프램이 없이 콘크리트가 강관을 통해 직접 압축력을 받도록 한 실험체이

다.

CDST은 폭 200 mm, 높이 100 mm, 두께 12 mm 인 수직형 타입과 상부 100mm, 하부 200 mm, 폭 88 mm, 두께 6mm인 사다리꼴 모형의 수평형 타입인 T자 모양으로 연결된 다이아프램이다. 인장시에는 다이아프램의 콘크리트 구속력을 증가시키고, 압축 시에는 하부 보플랜지가 콘크리트에 전달하는 응력을 분산시키기 위해 사다리꼴 모양의 다이아프램이 사용되었다. CDSV은 높이 572.5 mm, 폭 100 mm , 두께 9 mm 인 수직다이아프램에 지름 D13, 길이 60 mm 인 스티드를 60mm 간격으로 수직다이아프램에 직교하게 용접한 다이아프램 형식이다.

슬리브는 다이아프램 중앙부 개구부의 단면손실에 의한 인장응력감소, 즉 보플랜지 인장시 발생하는 면내응력에 대한 저항을 보강하기 위해 삽입했다. 기둥-보 접합부의 접합방식은 20mm single plate를 사용한 볼트 접합이며, 이는 접합부의 전단에 대한 영향을 최소화함으로써 순수 휨 거동에 대한 연성능력을 평가하기 위함이다.

모든 용접은 E71T-1 ϕ 1.6mm 전극봉을 사용한 FCAM (Flux-Cored Arc Welding) 방식으로 행하였다. 이러한 용접 방식은 국내의 공장 용접에서 사용되는 가장 일반적인 방식으로서 AWS(American Welding Society)의 규준에도 적합한 것이다. 또한 강관과 보플랜지 간의 접합은 E7018 ϕ 1.8mm 전극봉을 사용한 SMAW(Shielded Metal Arc Welding) 방식을 사용하였다. 또한, 한쪽 부재의 끝을 용접이 양호하게 하도록 하기 위하여 끝 단면을 비스듬히 절단하여 용접하는 맞댐용접을 사용하였고, 강관 안에서의 용접이 어려운 경우는 받침쇠(backing strip)를 이용해서 두 강재를 용접하였고 강관과 강관, 강관과 다이아프램, 보 플랜지와 다이아프램에 사용하였다. 또한 이것은 용접 초기 과정 중에 생기기 쉬운 용융불량, 수축균열, 슬래그 유입 등의 결함을 방지하여 실험결과에 영향이 없도록 하기 위함이다. 강관과 보 플랜지 간의 접합은 현장에서 사용되는 실제 시공 상황을 고려하여 보 웹 양쪽 모서리에 반지름이 35mm인 스켈럽을 두어 완전용융용접을 하였다.

2.2 소재 시험

본 실험에서 사용된 강재의 기계적 성질을 알아보기 위하여 KS B 0802 규준에 따라 각각 3개씩의 인장 시험편을 절취하여 인장강도 시험을 행하였다. 사용된 재료는 SM490의 12mm plate와 SS400의 10mm, 16mm plate 이다. 또한 콘크리트는 공시체에 대한 28일 압축 시험을 행하였다. 각 시험편의 결과를 평균하여 탄성계수, 항복강도, 인장강도, 항복비, 연신율을 표 1에 나타내었다.

표 1. 소재 시험 결과

구분	강종	THK. (mm)	E (tf/cm ²)	F_y (tf/cm ²)	F_u (tf/cm ²)	$\frac{F_y}{F_u}$	Elo. (%)
강관	SM490	12	2152	4.72	6.16	0.77	26
보(web)	SS400	10	2192	3.47	4.60	0.75	28
보(flange)		16	1998	3.49	4.88	0.72	32
T-bar(수평)		6	2092	2.36	3.72	0.63	29
T-bar(수직)		9	2196	3.37	4.86	0.69	26
Flat-bar		12	2149	2.68	3.63	0.74	34
콘크리트	$f_c' = 500 \text{ kg/cm}^2$						

2.3 실험 장치

실험체는 그림 7에서 보는 바와 같이 반력벽과 반력바닥에 놓여있다. 실험체는 기둥-보 접합부 부위에 횡력이 가해진 골조를 재현하기 위해 기둥 상하단을 기둥과 수직으로 놓인 반력벽에 힌지 상태로 유지하고 가력 끝단에 상하반복가력이 가능한 200tonf 용량의 액츄에이터를 부착한다. 또한 가력시 보의 좌굴 방지를 위하여 가력 끝단 양쪽에 횡가새를 설치하였다.

2.4 가력 및 측정방법

하중이력은 그림 8에서 보는 바와 같이 ANSI/AISC SSPEC-2002 Cyclic Loading Program(AISC,2002)에 의해 가력하였다. 하중은 층간 변위각에 의해 조절된다. 보 끝단의 변위는 층간 변위각에 따라 보 단부의 가력중심에서 기둥 중심까지의 거리를 이용하여 정하였으며 (SAC,1997), 액츄에이터의 변위제어로 하중가력을 실시하였다. 하중가력방식은 층간변위각이 0.375, 0.5, 0.75% 일때 각각 6 사이클, 1% 일때는 4 사이클, 2% 이후로는 2사이클씩 연속해서 반복가력하며 파괴될 때까지 1%씩 증가한다.

변위 게이지와 변형도 측정 게이지는 전체적인 거동과 국부 변형을 확인하기 위한 위치에 설치하였다. 액츄에이터의 수직 변위는 실험체의 변위를 조절하였다. 가력하중의 크기는 액츄에이터에 있는 로드셀에 의해 측정된다. 연성능력을 측정하기 위한 비탄성회전각(Giton,C.S.2002)은 Seismic Provision for Structural Steel Building(AISC,2002)규준에 의하여 보 단부 변위에서 탄성 변위를 뺀 보 단부의 소성 변위를 보 끝단에서 기둥 중심까지의 거리로 나누어 구한다.

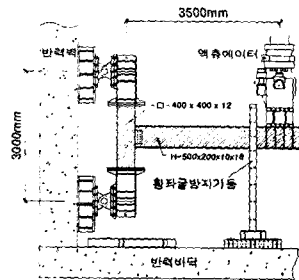


그림 7. 실험 장치그림

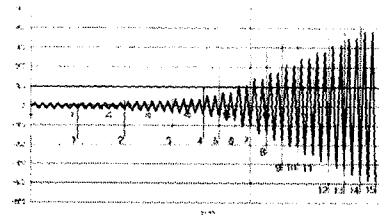


그림 8. ANSI/AISC SSPEC-2002

3. 실험 결과 및 분석

3.1 모멘트-회전각 관계

각 실험체에 대한 접합부의 모멘트-회전각 관계와 파괴형상을 그림 9~13에서 보여주고 있다. 모멘트는 가력점의 하중에서 보의 가력점과 기둥중심간의 거리를 곱한 값이고, 회전각은 가력점의 변위를 보의 길이(3500mm)로 나눈값이다.(SAC,1997) 또한 보의 전소성모멘트 M_p 는 보의 항복응력에서 소성단면계수를 곱한 값이다.

3.1.1 CDS 실험체 - 복합심자형 슬리브 보강형 -

CDS실험체는 그림 16 (a)와 같이 상당히 안정적인 이력곡선을 보여주고 있다. 3사이클(0.00375 rad)에는 보 플랜지에 결 표면이 벗겨지면서 항복이 시작되었다. 항복이후 보의 소성화가 진행되면서 외관상으로는 아무런 변화가 없다가 6사이클(0.02rad)에서는 강관에서 1cm 가량 떨어진 하부

플랜지와 다이아프램 사이에 균열이 시작되었고, 6사이클(0.03rad)까지 균열의 폭이 계속 증가되면서 내력이 감소하였다. 실험체는 7사이클(0.03rad)에서 최대내력에 도달 후 하부 플랜지 접합부 파단으로 실험이 종료되었으며 그림 16 (a)와 같이 접합부의 상·하단이 동일하게 보의 전소성모멘트를 상회하는 내력을 보여주었고, 전체적으로 안정적인 방추형의 이력거동을 나타내었다.

3.1.2 CDSN 실험체 - 무보강형 -

CDSN은 복합십자형 다이아프램을 이용하여 상부만 보강한 실험체로 상부와 하부가 상대적으로 큰 강성의 차이를 보이고 있다. 4사이클(0.01rad)에서는 하부플랜지 용접부에 균열이 발생하면서 하부플랜지면에 미세한 항복선이 나타났으며, 하부 플랜지와 강관 연결부 중앙이 조금씩 블록해지기 시작했다. 5사이클(0.015rad)에서는 하부플랜지 끝단에서의 균열이 플랜지 두께만큼 진전되면서 강관과 보플랜지 끝단 용접부를 중심으로 항복선이 뚜렷해지기 시작했다. 7사이클(0.03rad)에서는 하부 강관이 심하게 블록해지면서 강관과 강관 접합부 양쪽에 갑작스런 파단으로 최대내력에 도달하여 실험을 종료하였다. 상부인장시에는, 전소성모멘트를 상회하는 내력을 나타냈으나, 하부인장시에는 전소성모멘트의 30%에 해당하는 내력을 나타냈다.

3.1.3 CDST 실험체 - Horizontal T-bar -

CDST은 접합부 압축측 부분에 콘크리트와의 구속효과 및 지압에 대한 응력집중을 줄여주기 위해 T자형의 다이아프램을 보강한 형식으로 초기에는 안정적인 이력곡선을 보여주고 있다. 4사이클(0.01rad)에서는 하부측이 CDSN과 비슷하게 하부 플랜지 끝단과 강관 용접부에 미세 균열로 강성저하가 시작되면서, 하부 강관이 블록하게 돌출되기 시작하였다. 5(0.015rad)사이클과 6사이클(0.02rad)에서는 4사이클에서 나타난 현상이 계속 진전되었으나 상대적으로 상부 플랜지는 외관상으로 아무런 변화를 보이지 않았고, 미세균열의 흔적도 나타나지 않았다. 7사이클(0.03rad)에서는 우측강관 접합부의 파단으로 최대내력에 도달하였으며, 파단이 계속 진행됨에 따라 실험체가 저항능력이 없는 것으로 판단되어 실험을 종료하였다. 그림 18(a)는 상하부가 상대적으로 큰 내력의 차이를 보이고 있으며, 상부인장시에는 전소성모멘트를 상회하는 내력을 나타냈고, 하부인장시에는 전소성모멘트의 70%에 해당하는 내력을 나타내었다.

3.1.4 CDSV 실험체 - Vertical Flat bat -

CDSV은 접합부 하부를 수직 방향의 스티프너로 용접하여 보강한 실험체로서 4사이클(0.01rad)에서 탄성거동을 나타내며 하부 플랜지 끝단과 강관 용접부에 미세균열이 시작되었고, 동시에 플랜지면 항복이 일어나기 시작하였다. 5·6사이클에서부터는 상하단의 거동이 큰 차이를 보이기 시작하는데, 상부는 4사이클에서의 현상이 계속 이어지면서 내력이 증가되면서 균열의 폭이 커지는 반면에 하부는 항복이후 소성화되면서 내력이 급격히 감소되었다. 7사이클에서는 강관이 하부 다이아프램의 소성화로 보플랜지의 인장력을 견디지 못하고 최대내력에 도달 후 강관과 강관사이의 갑작스러운 파단으로 실험이 종료되었다. 상부인장시에는 전소성모멘트를 상회하는 내력을 나타냈지만, 하부인장시에는 강관내의 다이아프램의 소성화로 전소성모멘트의 70%에 해당하는 값을 나타냈다.

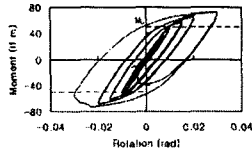


그림 9. CDS 실험체의 응답곡선 (a) 모멘트 - 회전각; (b) 최종파단 (0.03 rad)

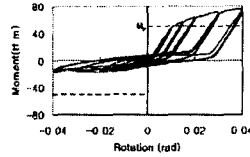


그림 10. CDSN 실험체의 응답곡선 (a) 모멘트 - 회전각; (b) 최종파단 (0.03 rad)

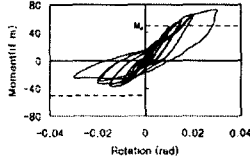


그림 11. CDST 실험체의 응답곡선 (a) 모멘트 - 회전각; (b) 최종파단 (0.03 rad)

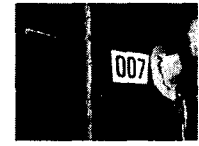
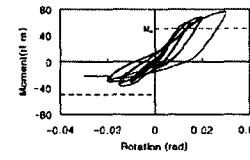


그림 12. CDSV 실험체의 응답곡선 (a) 모멘트 - 회전각; (b) 최종파단 (0.03 rad)

3.2 초기강성 및 최대내력

하부 다이아프램의 보강형태에 따른 각 실험체별 강도 및 강성에 대한 비교를 표 2 및 그림 14과 15에 나타냈다. 상부플랜지가 인장인 경우, 모든 실험체는 상부를 복합심자형 다이아프램으로 동일하게 보강하였기 때문에 내력에 차이가 없음을 볼 수 있다. 상대적으로 하부 인장시에는 최대 내력비(하부인장/상부인장)가 CDS는 1.04, CDSN은 0.23, CDST는 0.51, CDSV는 0.48로 대체로 큰 내력의 차이를 보여주고 있다. 슬리브를 삽입한 CDS 실험체는 상하부 인장시의 내력이 거의 동일한 값을 나타냈다. CDSN은 강관내부가 보강되어 있지 않아서 강관이 하부 플랜지의 인장력을 지탱하고 있기 때문에 상대적으로 내력이 매우 낮을 뿐만 아니라 그림 13에서와 같이 하부측 소성화가 빨리 진행된 것을 볼 수가 있다. CDST의 T-bar로 보강된 하부측은 CDS보다 작은 내력을 보여주고 있으나, 다이아프램이 앵커효과에 의한 콘크리트 효과로 CDSN보다 내력이 두 배 정도 상승한 것을 볼 수가 있다. 그러나, 하부 플랜지 인장력을 받고 있는 강관의 강성저하로 탄소영역이후 전체적인 내력 감소현상을 보이는 것으로 생각된다. CDSV는 CDST과 내력의 차이를 보이지 않았으며, 내부 다이아프램이 수직으로 보강됨에 따라 다이아프램이 내부 콘크리트와 구속력이 작아 강관변형으로 인한 내력저하를 보이고 있다.

표 2. 하부 접합부 형태에 따른 내력 및 강성 비교

실험체명	F_u (tf·mm)		K_i (tf/mm)	
	상부인장	하부인장	상부인장	하부인장
CDS	20.0	20.8	0.46	0.42
CDSN	21.9	4.94	0.31	0.17
CDST	21.3	10.8	0.38	0.38
CDSV	22.1	10.7	0.39	0.34

표 3. 골조별 내진성능 요구치(AISC,2002)

골조분류	접합부 비탄성 회전 능력
Composite ordinary moment frame (C-OMF)	0.01 rad
Composite intermediate moment frame (C-IMF)	0.02 rad
Composite special moment frame (C-SMF)	0.03 rad

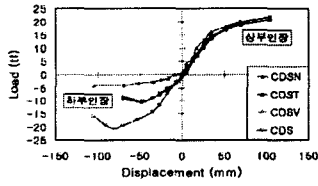


그림 13. 단조화된 하중-변위 관계곡선 (Chin-Tung Cheng,2002),(Chung-Che Chou,2001)

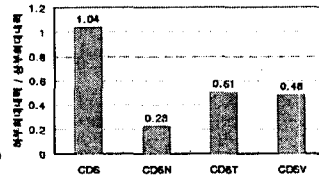


그림 14. 최대내력비교

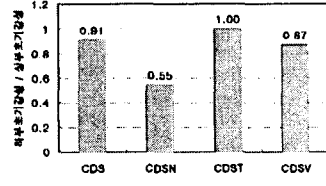


그림 15. 초기강성

그림 14은 각 실험체의 가력초기의 상부인장시 강성값에 대한 하부인장시 강성 값의 비를 나타낸 것이다. 내력과 다르게 CDS는 0.91, CDSN는 0.55, CDST는 1.00, CDSV는 0.87로 대체로 근소한 차이를 나타냈다. 그러나, 하부측 다이아프램의 보강이 없는 CDSN은 하부에 인장이 발생할 경우 상부인장시에 1/2정도의 강성을 보여주어 하부 다이아프램의 보강이 필수적이라 사료된다.

3.3 소성변형능력

기둥-보 접합부는 지진시 발생하는 큰 전단력과 에너지를 흡수할 수 있도록 일정한 소성변형능력이 확보되어야 하는 중요한 요소이다. 표 4는 골조별 내진 성능 요구 값(AISC,2002)을 보여주고 있고, 그림 16은 각 실험체의 상·하단의 비탄성 회전각(AISC,2002)을 나타낸 그래프이다. 각 실험체는 상부인장시에 접합부 회전 능력인 0.02rad의 합성중급모멘트 연설골조에 해당되나, 하부인장시는 0.01rad인 합성보통모멘트 연설골조에 해당된다. 그래프에서 CDSN의 회전각이 다른 실험체에 비해 높게 나온 이유는 그림 20과 같이 조기 소성화로 인한 내력의 증가 없이 변위가 증가했기 때문인 것으로 사료된다. 모든 실험체가 C-OMF에서는 요구하는 0.01rad은 대체로 만족하는 것으로 나타났다.

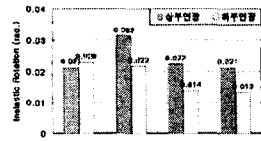


그림 16. 비탄성 회전각



그림 17. 0.02rad에서의 총 소성일

3.4 에너지 흡수 능력

소산에너지는 구조물의 중요한 내진 특성 중의 하나이다. 소산에너지는 하중-변위 이력 관계에서 의해 둘러싸인 면적을 누가 시켜 구할 수 있으면, 이것을 총 소성일로도 평가할 수 있다. 그림 17은 각 실험체의 0.02rad.과 0.03rad.까지의 총 소성일 비교한 것이다. 또한 각 실험체가 0.03rad까지 도달했으나 초기에 파괴가 일어났기 때문에 0.02rad을 기준으로 에너지 흡수 능력을 평가하였다. 그림 24에서 보는 바와 같이 CDS가 6307tf.mm로 가장 높은 값을 나타냈으며, 이형 하부다이아프램을 사용한 실험체(CDSN, CDST, CDSV) CDS보다 31%~68% 낮은 값을 보였다. 하부 이형 다이아프램을 사용한 실험체는 강진지역에 사용될 수 있는 CDS보다 에너지 흡수 능력이 미흡하지만 상부 보강으로 인해 에너지 흡수 능력이 충분히 확보될 수 있으리라 사료된다.

4. 결론

이형 하부다이하프램으로 보강한 각형 CFT 기둥-보 접합부의 단순인장 및 반복하중에 대한 실험결과에 따른 비교·분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 최대내력에 있어서, 상부인장시에는 모든 실험체가 유사한 내력을 나타내었으나, 하부 인장시에는 이형 하부다이하프램을 사용한 실험체(CDSN, CDST, CDSV)가 CDS 실험체의 23%~43%내력을 나타냈다.

(2) 모든 실험체의 상부는 합성특수 모멘트골조에서 요구하는 비탄성회전각인 0.02rad에 도달하였으며, 하부는 0.01rad의 비탄성회전능력을 보여 주었다.

(3) 에너지 흡수능력은 CDS가 가장 큰 값을 나타냈고, 이형 하부다이하프램을 사용한 실험체(CDSN, CDST, CDSV)는 CDS보다 31%~68% 낮은 값을 보였다. 하부 다이하프램의 보강방식에 따라 에너지 흡수능력의 값이 다르지만, 인장측 상부 접합부 보강만으로도 충분한 에너지 흡수 능력을 발휘할 수 있으리라 판단된다.

(4) 이형 하부다이하프램으로 보강된 접합부를 지닌 골조는 일정한 내진성능이 확보될 수 있다는 사실을 본 실험을 통하여 확인하였다. 이는 중·약진지역에서 요구하는 내력과 소성변형능력을 만족하는 것으로 평가할 수 있다.

참고문헌

1. 김동규,최성모,김진호 등, "콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침", 연구보고서, 한국강구조학회, 2000
2. 김동규,최성모,강도안,정경수 등 "콘크리트충전 원형강관 기둥의 접합부 개발에 관한 연구", 연구보고서, 서울시립대학교, 1996
3. 김동규,최성모 등 "충전강관기둥의 내화성능평가 및 설계법에 관한 연구", 연구보고서, 한국강구조학회, 1999
4. American Institute of Steel Construction, Inc. (AISC) (2002), Supplement No. 1 and 2 to Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, IL, May 21.
5. Chin-Tung Cheng and Lap-Loi Chung, 2002, Seismic performance of steel beams to concrete-filled steel tubular column connections, Journal of constructional steel research.
6. Chung-Che Chou and Chia-Ming Uang, 2001, Cyclic performance of a type of steel beam to steel-encased reinforced concrete column moment connection, Journal of constructional steel research.
7. Giton, C.S. and C.M. Uang, 2002, Cyclic response and design recommendations of weak-axis reduced beam section moment connections, Journal of Structural Engineering.
8. SAC (1997), SAC/BD-97/02 Version 1.1, "Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Specimens," SAC Joint Venture, Sacramento, CA.