

Band Plate로 연결된 RC기둥-철골보 접합부의 이력거동에 관한 실험연구

Structural Behavior of the RC Column-Steel Beam Joint with Band Plate

서수연* 이원호** 이리철*** 윤승조****

Seo, S. Y. Yi, W. H. Lee, L. H. Yoon, S. J.

Abstract

This paper presents the experimental result of Reinforced Concrete column-steel beam joint connected by Band Plates(BP). Main parameters in the test are the shape of BP and thickness of plate. Ten interior and exterior RC column-steel beam joint specimens are designed. Cyclic loads are applied to the beam end of eight specimens (four interior specimens and four exterior specimens). To evaluate the cyclic effect, monotonic loads are acted for two specimens.

All specimen showed similar failure pattern such as the plate of BP get torn after the large deformation. Even though the specimen with double cross type BP has lower strength than the specimen with single cross type BP, the energy dissipation capacity of the specimen turned out high. Thus, provided the strength of joint with double cross type to be designed to have suitable strength by increasing the thickness of plate, the joint system may show higher seismic capacity.

keywords : RC column-steel beam joint, Band Plate, single cross type, double cross type, strength, energy dissipation capacity

* 정회원, 연암대학교 SFRESS 연구교수
** 정회원, 광운대학교 건축공학과 교수
*** 정회원, 연암대학교 건축공학과 교수
**** 정회원, 국립중앙대학교 건축공학과 교수

E-mail : saoseo1@hanmail.net 02-2290-1723
* 본 논문에 대한 보려금 2002년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2002년 7월초에 표록권자를 기재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구배경

철근콘크리트구조는 속력공이 요구되는 다수의 직공이 접합되므로 작업공정의 어려움이 많다. 반면에 철골구조는 공기가 적은 강철과 고층건물 시공시 효율적이지만, 철골이 고가이므로 재료비의 비중이 크다. 또한 철근콘크리트구조와 철골구조, 이들 두가지 구조형식의 장점을 활용한 철골철근콘크리트구조가 개발되어 현재 장스팬이면서, 작은 단면으로서 고층력을 지지하는 중고층 건축물 시공에 이용되고 있으나, 철골구조의 기거상승과 시공이 있어 철근콘크리트구조보다 현장작업인원이 많이 소요되고, 공기가 길며, 작업이 복잡한 단점이 있다.

이와 같은 강구조, 철근콘크리트구조와 철골철근콘크리트 구조 등 기존에 사용했던 구조형식의 단독으로 사용례가 많고, 각각의 재료특성을 발휘하도록 구성된 구조요소를 잘 조합시킨 구조물은 지금까지의 구조형식에서는 인지 못했던 우수한 구조적 성능을 기대할 수 있다는 점에서 최근 주목받고 있다. 그리고, 이를 위한 복합화 공법개발의 노력은 SRC구조에 대한 지속적인 연구를 통해 구조형식을 변형시켜 나가는 방향으로 진행되고 있다. 세계적으로는 일본이 각 기업의 연구실 및 산-학 공동연구를 통해 많은 접합부 상세를 개발하고 있는 상황이며, 미국의 경우에도 일본과 함께 이 구조형식의 개발에 관한 연구를 진행하고 있다. 국내에서도 최근에 RC와 철골구조를 혼용한 구조형식의 개발에 관한 연구가 진행되고 있지만 아직까지 초보적인 단계로써, 많은 연구가 필요한 상황이다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

1.2 연구목적 및 방법

철근콘크리트 기둥과 철골보 접합된 복합구조에서는 압축력에 우수한 RC와 인장력에 우수한 철골이 그 특성에 맞게 각각 기둥과 보로서 역할을 하게된다. 기존의 단일구조에서는 접합방법이 필요하지만 이질부재로 구성된 복합구조는 접합부에서 두재료의 연속성 확보에 문제가 많기 때문에 부재와 연속성 확보가 시스템의 수명정수인이라 할 수 있다. RC기둥-철골보의 구

조형식에서는 접합부에서 기둥단면과 겹순, 기둥원근의 비균할 어려움, 콘크리트 충전불량 등의 문제가 있을 뿐만 아니라, 복잡한 철골에서의 용접원뎁기구가 명확하지 않기 때문에 접합부에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 철근콘크리트 기둥이 연속되는 형식으로서, 철골보와 기둥이 Band Plate(이하 BP로 칭함)로 연결된 접합시스템에서 BP의 형태와 위치에 따른 접합부의 거동특성을 실험적으로 규명하고자 한다.

2. Band Plate로 연결된 RC 기둥-철골보 접합부

이 시스템의 접합부는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 기둥의 수직철근은 수직방향으로 연속이 되며, 접합부의 대부가 연속형 띠근으로 구성된 구조형식이다.

보단부의 용력은 철골보의 상-하부 플랜지를 통하여 접합부의 양측부 BP로 전달된다. 선조립공장에서 미리 기둥의 수근과 접합부 철골을 제작하여 현장반입 후, 2개층 또는 3개층 단위로 시공하게 되므로, 개개의 RC구조형식에 비하여 2배 또는 3배 정도로 공기를 단축할 수 있으며, 용접작업의 대부분을 선조립공장에서 해결됨으로 인해 현장에서의 용접작업을 최소화시킬 수 있다. Fig. 2는 이 시스템의 조립공정을 나타낸 것으로서, 공장에서 접합부철골과 기둥원근으로 조립된 3개층 단위의 유니트를 제작하고, 이를 현장에 반입한 후, 기 설치된 기둥의 수근과 커리어, 스프라이스 슬리브 등과 같은 연결장치를 통하여 선조립하고, 슬리브와 함께 기둥콘크리트를 타설한다.

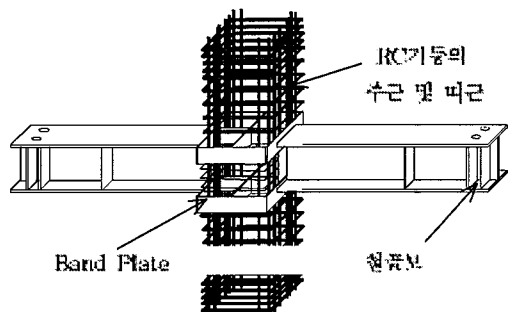
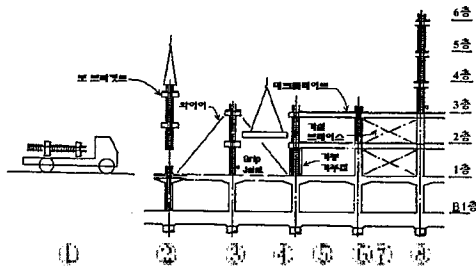


Fig. 1 BP로 연결된 RC기둥-철골보 접합부



- ① 기둥 철근과 보 브래킷트 조립(공함)
- ② 신코립부 기둥 설치
- ③ 와이어-Grip joint 연결
- ④ 철골보 설치
- ⑤ 데크플레이트 설치
- ⑥ 기둥거푸집 설치
- ⑦ 기둥 콘크리트 타설
- ⑧ 슬래브 콘크리트 타설

Fig. 2 시스템의 세로단면도

이에 따라 2 또는 3개층이 한꺼번에 제작되고, 현장에서는 용접 등과 같은 작업이 최소화되므로 시공성을 높일 수 있다.

3. 구조실험

3.1 실험체 계획

철근콘크리트 기둥과 철골보라는 이질재료로 제작된 각 부재를 접합하기 위해서는 특별한 접합부 계획이 필요한데 기둥의 연속성과 보의 연속성이 모두 만족되어야 한다. 본 연구에서는 접합부에서 기둥이 보를 관통하는 형태로서 보의 기둥면에서 단속되고, 보의 상·하 플랜지가 무덤하는 필용력이 기둥에 봉합되는 BP로 전달된다. BP는 기둥외부를 따라 사각으로 만들어진 외수편과 기둥내부로 하중을 전달하는 +자형의 증편으로 이루어진다. 이러한 접합형식은 기둥내부로 보의 플랜지가 관통하지 않으므로 기둥의 콘크리트 충실성이 좋고, 철근비율이 용이하며, 철근의 연속성 확보가 용이하다. 양쪽면에 작용하는 힘은 BP에 의해 기둥과 반대편 보에 전달되며, BP 각 편의 두께는 접합부에 작용하는 모멘트를 인장력으로 환산하여 총 필요단면을 구하고 각 부재와 부담율은 +자형의 BP에

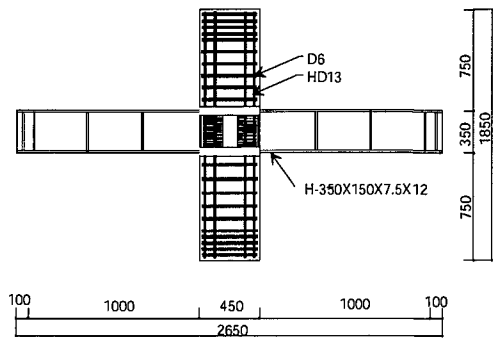


Fig. 3 실험체 형식

Table 1 실험체 표명표

실험체명	침합부 주프근		Band Plate		증편두께 (mm)	가력방법
	형태	직경 (mm)	길이 (mm)	두께 (mm)		
ICS10-M	나선	#4	20	60	10	단조
ICS10	나선	#4	20	60	10	만곡
ICH10	비관	D6	50	60	13	만곡
ICS15	나선	#4	75	60	13	만곡
IDS10	나선	#4	20	57	6	만곡
ECS10-M	나선	#4	20	60	10	단조
ECS10	나선	#4	20	60	10	만곡
ECH10	비관	D6	50	60	13	만곡
ECS15	나선	#4	75	60	13	만곡
EDS10	나선	#4	20	57	6	만곡

ICS10-M
 단조거리(%) :
 증편의 길이 : 100mm, 150mm
 침합부 주프근 : 나선관(S), 비관(H)
 BP 형태 : Cross(C), Double cross(D)
 침합부 형태 : Interior(I), Exterior(E)

있어 증편이 40%, 그리고 양쪽 외수편이 각각 30%씩 나뉘어 작용하는 것으로 가정한다. 시공성과 용이성도 또한 고려하여 BP의 높이는 60mm로 하고 두께를 각각 13mm와 6mm로 한다. 그리고 증편과 외수편의 용량은 동일경면에서 접합되도록 혼용점한다. Fig. 3은 실험체의 형상을 나타내며, 실험에서 고려한 주요변수는 Table 1에 나타내며와 같이 BP의 형상, 띠의 형태, 가력방법으로서, 5개의 내부침합부 실험체와 5개의 외부침합부 실험체를 제작하여 실험을 실시한다.

3.2 재료시험

실험에 사용된 강재는 SS-11, 철근은 SIMO으로서 재료시험결과 강도는 Table 2에 나타난 바와 같다. 사용된 콘크리트의 28일 압축강도는 평균 237 kgf/cm²으로 나타났다.

Table 2 시공강재의 재료시험결과

구분	직경, 주철 (mm)	항복강도		극한강도	
		하중 (t)	용적 (kgf/cm ²)	하중 (t)	용적 (kgf/cm ²)
강판	8	9	2250	13.43	3158
	9	11.2	2539	16.32	3700
	12	14.5	2466	21.53	3662
	13	16.5	2115	26.46	3392
철근	4	0.25	2063	0.6	5000
	6	0.9	3214	1.15	4063
	13	4.2	3157	4.74	3564

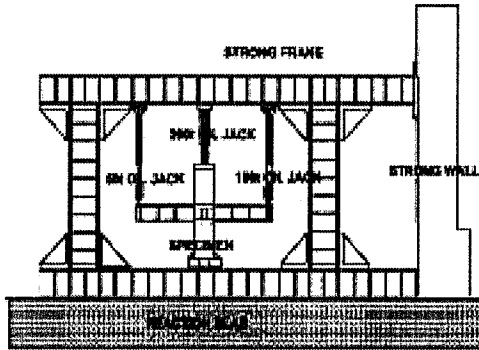


Fig. 4 실험시 설치상황

3.3 기력 및 측정방법

부재의 변형을 측정하기 위하여 LVDT와 스트레인 게이지를 부착하였다. 보단부에서의 변위, 접합부에서의 전단변형, 그리고 기둥과 철골보의 경계면에서 발생하는 회전변형을 측정하도록 LVDT를 설치하였고

용력을 전달하는 BP와 철골보 부분에 스트레인 게이지를 부착하였다.

실험책은 Fig. 4와 같이 200L오일세울 이용하여 기둥에 일정축력(내부기둥=106t, 외부기둥=53t)을 작용시킨후, 보 단부에 50L오일세울 이용하여 반복하중한다. 보 단부에 작용시킨 횡력은 변위조절방식으로 Fig. 5와 같이 부피회전각에 따라 조절하였다.

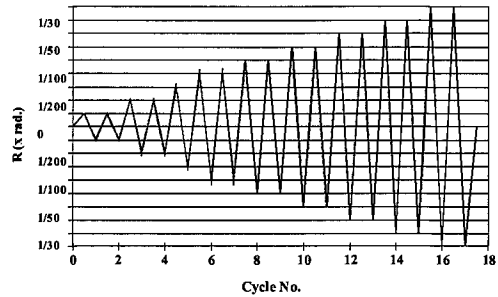


Fig. 5 하중이력

3.4 실험결과

(1) 균열 및 파괴상황

일정축력을 작용시키고 반복하중을 가해진 결과 각 실험체별로 다소의 차이는 있었으나, Fig. 6에서의 같이 BP에서 많은 변형이 발생하여 종국파괴되었다. 특히, 부재가 항복한 이후에는 BP의 좌수면에서 변형이

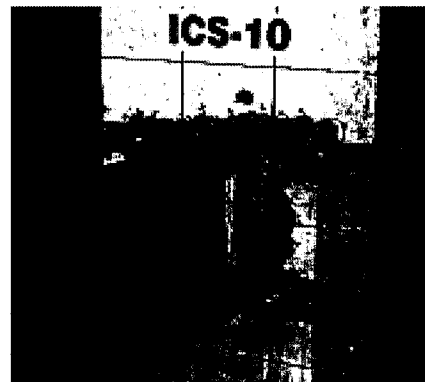


Fig. 6 ICS10 실험체의 파괴상황

증가되는 경향을 보였고 이 변형량이 증가함에 따라 최종적으로 용접부에서 중단되었다.

실험체의 선형적인 파괴 과정을 살펴보면, 모 단부에 가력을 시작한 후, 첫 번째 균열은 대부분 BP의 외수권을 따라 균열이 발생하였는데, 이것은 균열이 집합부 내부로 전진되지 않은 것으로 보아 외수권이 면의 방향으로 변형되면서 BP수면과 콘크리트가 외수권에 의해 분리 일어나는 것으로 보여진다. 같은 양상의 균열이 전진되어, 모와 연결된 BP면에는 많은 균열이 나타났으나, 이와 수직된 면에는 균열이 거의 나타나지 않았다. 일부 사이클이 진행되면서 외수권이 침몰 앞으로 변형될 때 동시에 기둥면에서 붕괴되기 시작하였다. 모와 면한 외수권만 심한 변형을 보이다가 용접부가 중단되며 실험은 종료되었다.

(2) 하중변위 곡선

실험결과 일람은 Table 3과 같고, 각 실험체의 하중변위 곡선은 Fig. 7과 같다. Fig. 7의 각 실험체명에서 붙여 1과 2는 내부경합부의 좌측과 우측을 각각 나타낸다. Fig. 7으로부터, BP의 두께가 다른 ICS10과 ICH10 실험체에서는 내력과 하중변위곡선 상에 큰 차이가 없는 반면에 BP내부에 2개의 층판을 둔 IDS10 실험체의 경우에는 층판이 1개만 있는 실험체에 비하여 낮은 내력을 보였고, 항복하중에 이어 곧바로 최대하중에 이르는 양상을 보였다. 다만, 다른 실험체에 비하여 변형에 의한 크리프현상이 현저히 저감된 이력복합성을 보였다.

외부 가동-모 실험체에서, BP의 두께 변화, 웨브 부분의 층판복 크기 변화 등에 따른 하중변위 곡선상의 차이는 없는 것으로 나타났다. BP 내부에 층판이 2개 있는 EDS10 실험체의 경우에는 내력이 다소 낮은 것으로 나타났으나, 내부경합부 실험체와 마찬가지로 하중판선후의 변형현상이 현저히 저감되는 것으로 나타났다. 하지만 용력이 2개의 층판으로 적절히 분배됨으로 인해 변형현상 등이 줄어든 것으로 나타났다.

3.5 실험결과의 비교·분석

Fig. 7으로부터, IDS10 실험체와 EDS10 실험체

Table 3 실험결과 일람

실험체명	하중 하중 (t)	항복변위 mm (rad)	최대 하중 (t)	최대변위 변위 mm (rad)	
ICS10 M	좌	6.4	5.7 (1/175)	6.7	27.8 (1/70)
	우	7.5	6.2 (1/161)	9.1	32.0 (1/56)
ICS10	좌	7.7	4.8 (1/208)	9.7	22.0 (1/45)
	우	7.5	4.8 (1/208)	8.7	15.3 (1/85)
ICH10	좌	7.2	5.3 (1/189)	9.1	19.4 (1/52)
	우	7.5	8.0 (1/125)	8.9	20.0 (1/50)
ICS15	좌	7.5	2.2 (1/455)	6.8	10.1 (1/99)
	우	7.7	7.4 (1/135)	6.7	20.1 (1/50)
IDS10	좌	6.0	4.1 (1/244)	7.5	6.0 (1/167)
	우	5.8	4.1 (1/244)	7.1	6.8 (1/147)
ECS10 M	7.5	5.1 (1/124)	9.6	27.9 (1/36)	
ECS10	7.5	6.2 (1/161)	9.1	17.9 (1/56)	
ECH10	6.4	5.7 (1/175)	6.7	14.3 (1/70)	
ECS15	6.75	6.3 (1/159)	8.6	12.5 (1/80)	
EDS10	6.75	5.5 (1/182)	7.3	6.2 (1/122)	

를 제외한 나머지 실험체의 곡선이 비교적 유사하게 나타났음을 알 수 있다. 이는 대부분 실험체의 파괴부위가 BP부분에 집중되어 있고, BP와 단면적이 유사하기 때문인 것으로 판단된다. IDS10 실험체와 EDS10 실험체의 경우, 층판의 면적이 다른 실험체와 동일하지만 2개의 층판으로 분배되었기 때문에 용력선 당시 후가의 모멘트가 발생됨으로 인해 내력이 낮게 나타난 것으로 보여진다.

Fig. 8은 실험체의 항복내력과 최대내력을 나타낸 것으로서, 내부경합부의 경우에는 좌측과 우측부의 내력평균값을 나타내었다. 그럼으로부터 내부경합부 및 외부경합부의 경우에는 층판이 2개인 IDS10과 EDS10 실험체를 제외한 나머지 실험체의 항복 및 최대내력이 유사한 것으로 나타났음을 알 수 있다.

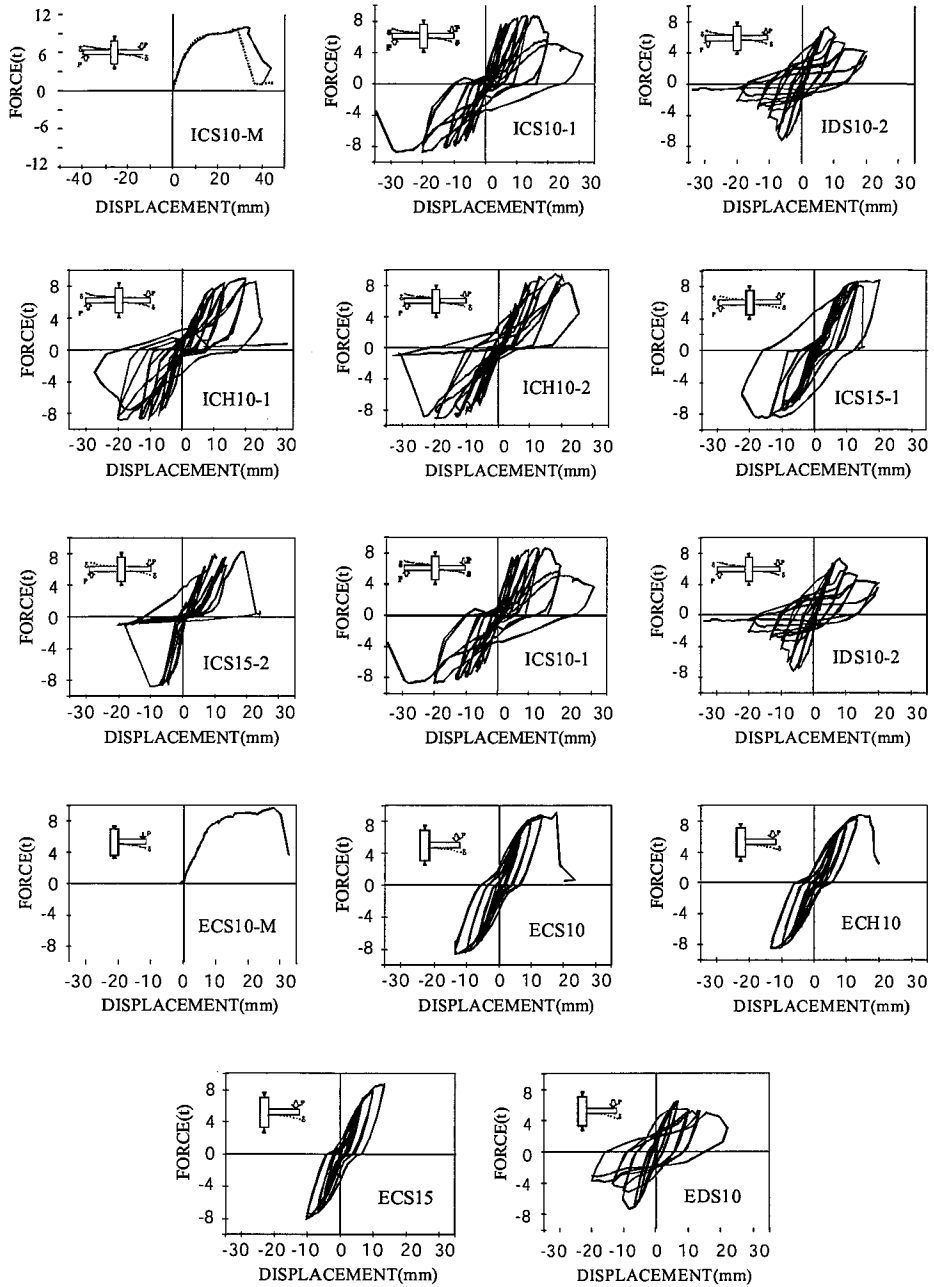


Fig. 7 시험-변위 곡선

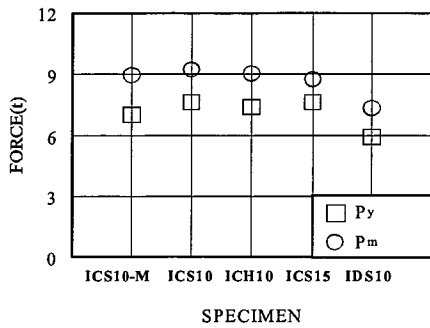


Fig. 8a 내부접합부 실험체

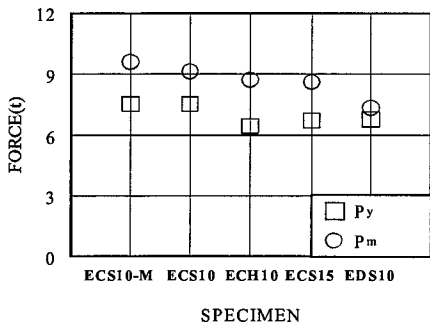


Fig. 8b 외부접합부 실험체

Fig. 8 실험체의 좌굴 및 최대내력

(1) 강성변화

Fig. 9에 나타난 바와 같이 각 사이클별 최대하중과 이력의 변위 및 최소하중과 이력의 변위 교점을 상호연결하여 나타낸 부재의 강성변화를 평가한 결과, 초기강성은 변위와 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며, 일반적으로 강성의 감소는 로그함수의 형태로 나타나는 데 비하여 본 실험체들은 거의 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다.

본 실험에서 고려한 변수들의 영향에 대해서는, 내력과 변위에서 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 강성에서도 각 실험체들 모두 비슷한 양상을 보였다.

(2) 에너지변화

Fig. 10에 나타난 바와 같이 누적 에너지소산면적

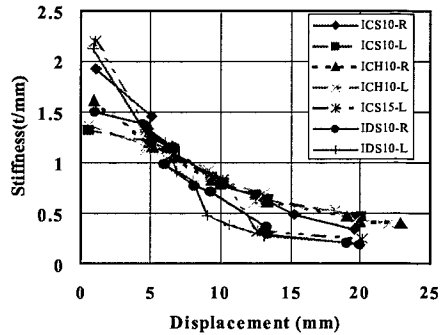


Fig. 9a 내부접합부 실험체

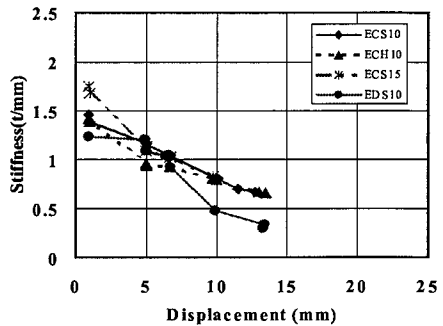


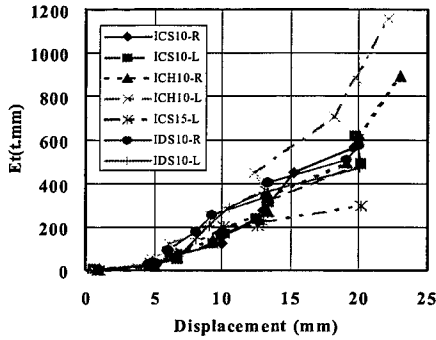
Fig. 9b 외부접합부 실험체

Fig. 9 실험체의 강성변화

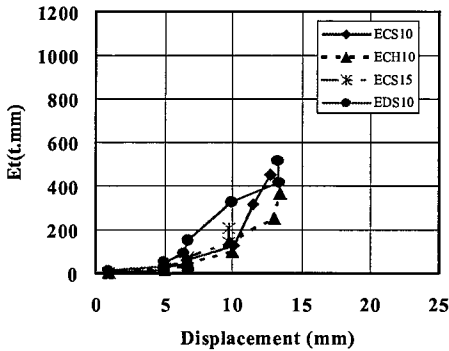
은 변위 10mm 구간에서 IDS10 실험체가 가장 높은 것으로 나타났으나, 최대하중 구간에서는 모든 실험체들이 유사하게 나타났다. 내부접합부 실험체와 외부접합부 실험체의 최대변위는 다르지만, 누적 에너지소산면적의 기본적인 형태는 유사한 것으로 나타났다.

(3) 좌괴기구에 대한 고찰

보에서 전달되는 총력은 BP의 중관 및 측관으로 전달되기 때문에 이 부근에 있는 외수관에 변형이 커지는 것으로 나타났다. 이에 따라 중관과 외수관의 연결부에서 좌굴각이 증가하게 되어 용접부(맞댄부위)에서 균열이 발생하고, 반부하중에 의해 이 부분이 소성회되어 총괄되더라도 이 부분에서 발생한 것으로 나타났다. Fig. 11은 ICS10 실험체의 BP와 월끝보 플랜지



(a) 내부접합부 실험체



(b) 외부접합부 실험체

Fig. 10 실험체의 수직에너지 소산

부분의 변형도를 나타낸 것이다. 그림으로부터, 철골-보-콘크리트부분의 변형도에 비하여 BP와 외수관과 중관 등에 많은 변형이 발생하였음을 알 수 있다.

이상과 같은 파괴기구를 고려하여, BP로서 연결되는 RC계통-철골보 시스템에서 접합부 설계 시 보의 모멘트관 충분히 발휘하기 위해서는 ① 보와 접합부의 모멘트비 ≥ 1 이상으로 조정하여 강한 접합부를 유도, ② 외수관의 휨에 대한 내력을 증가시켜, 보에서 전달되는 용력에 대하여 충분히 강하게 설계, ③ 현재 외수관과 중관이 만나는 접합면의 용접형태는 맞연용접이지만, BP와 휨 변형시 용접 부위에 과도한 용력이 집중되지 않도록 보강하여야 할 것으로 판단된다.

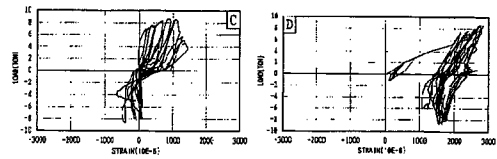
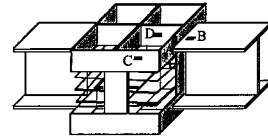
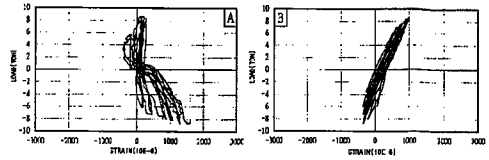


Fig. 11 BP 및 철골보의 변형도

4. 결론

- 1) BP는 철골보의 휨용력을 접합부로 전달하는 기능을 한다. 본 실험에서 수관 파괴부위는 BP의 휨 변형 증가에 의한 용점부파단으로 나타났다. 보와 접합부의 모멘트비가 1 : 1인 경우, BP 부분에서의 변형증대와 이로 인한 좌회로 내력이 결정되기 때문여, 모멘트 접합을 위해서는 BP를 보다 강하게 설계하여 접합부의 모멘트비를 증가시켜야 할 것으로 판단된다.
- 2) 보에서 전달되는 휨용력을 BP의 중관 1개로 지지하는 형식 (Single Cross Type)과 2개의 중관으로 지지하는 형식 (Double Cross Type)을 비교한 결과, 중관 2개로 지지하는 형식이 1개로 지지하는 형식에 비하여 내력이 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 중관이 2기인 경우, 좌중관선후의 휨침현상이 현저히 저감되는 것으로 나타났으며, 에너지 소산성능은 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과

는 BF의 외수권이 비교적 낮은 경우를 대상으로 하였다. 외수권이 강한 경우에 대해서도 그 시공 차이가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 동부전철(주)와 과학기술부 한국과학기술연구원, 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 연구로서, 이에 감사함을 드립니다.

참 고 문 헌

1. 손만일, "철근콘크리트 기둥과 철골 보의 이차이진 혼합 구조 접합부의 피하치 거동", 한양대학교 석사학위논문, 1998년.
2. 최한열, 조원규, 송진규, "연속하중을 받는 철근콘크리트 기둥과 철골보합성골조어 접합부 성능에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 15권 4호, 1999, pp.27-36.
3. 西村, "FRP-HEFCで構成される内部柱はり接合部の耐力向上機構", 日本建築学会構造系論文集, pp.77-85, 1989.
4. ASCE Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete, "Guidelines for Design Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, Vol.120, No.8, pp.2330-2337, 1994.
5. いおまた せいじ "絶縁物をを用いた FRP 梁の早急築構の動的的研究" 日本建築学会 "日本建築学会大規模建築" 1994. 9, 東海 pp.1080-1088
6. Eigaawa "Effect of Amount of Shear Reinforcement and Axial Force on The Ultimate Shear Strength of RC Columns" 社団法人 日本コンクリート工学会 "コンクリート工学会論文報告集 第91巻 第3号" 1987.
7. 角大和教授 "FRP柱・梁S筋 接合部のせん断耐力に関する実験的研究" 社団法人 日本コンクリート工学会 "コンクリート工学会論文報告集 第17巻 第3号" 1985, pp.1030-1034
8. 日本建築学会 "混合構造 Hybrid Structures-複合構造システム小委員会報告-" 1987, 5.
9. 手井, 東端, 杉由, 藤村, "FRP-梁S筋接合部の力學性狀", コンクリート工学会論文報告集, pp.347-352, 1982.
10. T. M. Sheikh "Beam-column Moment Connections for Composite Frames: Part I, Part 2", J. Struct. Engng. ASCE, Vol.115, pp.2838-2846, 1989, 11.
11. James D. Hummel, Abolfazsal Astaneh "Cyclic Behavior of Steel Top-and-Bottom Plate Moment Connections" Earthquake Engineering Research Center University of California at Berkeley August, 1990.
12. Mohammad S. Al-Haddad James K. Wight "Feasibility and Consequences of Moving Beam Plastic Hinging Zones for Earthquake Resistant Design of R/C Buildings" Department of Civil Engineering the University of Michigan July, 1986, UMI-86-1.
13. Kinno, H., "Strength, Deformation and Seismic Resistance of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Column", Vol.12, Cornell University, 1983.
14. Ikenkix, G. G., Sheikh, T. M., "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 1", Journal of Structural Engineering, Vol.115, No.11, pp.2838-2846, 1989.
15. Ikenkix, G. G., Sheikh, T. M., "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 2", Journal of Structural Engineering, Vol.115, No.11, pp.2877-2886, 1989.
16. 민철아, 김승훈, 채수민, 이리형, 송원기, "철골철근콘크리트 기둥-철골보 접합부의 유동특에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제17권 4호, 2001, 6, pp.51-66

(접수일자 : 2001년 8월 18일)