

# 철근으로 보강한 콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부의 거동

## Behavior of Concrete-Filled Square Steel Tubular Column-H Beam Connections with Reinforced bars

유영찬<sup>1)</sup> · 신경재<sup>2)</sup> · 오영석<sup>3)</sup> · 이승준<sup>4)</sup> · 문태섭<sup>5)</sup>  
*Yoo, Yeong Chan · Shin, Kyung Jae · Oh, Young Suk · Lee, Seung Joon · Moon, Tae Sup*

요약 : 본 연구는 콘크리트충전 각형강관을 이용한 기둥-보 접합부에 있어서 시공성과 충전성을 고려하여 철근으로 보강한 콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부를 제시하고, 1차적으로 보의 인장플랜지와 충전 각형강관 기둥 접합부와의 인장거동을 실험적으로 관찰한 후, 내진 설계 개념을 적용하여 수평 하중을 반복적으로 가할 경우의 접합부 실험을 실시하고 제시한 접합부의 내력 및 변형 특성을 파악한다. 실험결과로부터 항복선 이론을 적용하여 내력을 평가하고 접합부의 내력식을 제안하며, 향후 국내의 콘크리트충전 강관구조 기준 제정에 필요한 기초 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

ABSTRACT : The objective of this study is to investigate the structural behavior of concrete-filled steel tubular column to H-beam connections with reinforced bar. As a preliminary test, simple tensile test on the column to H-beam connections stiffened were conducted. The parameters of tensile test are the diameters of each rebars. The simple tensile test were conducted to 5 kinds of specimens. Estimating the load, displacement and strain for specimens, the result of tensile test were compared with the results of main test. On the basis of simple tensile test, tests are conducted to monotonic and cyclic loading column to H-beam connections with the same diameters of rebars. Specimens of 5 are made for monotonic and cyclic loading test. In analysis, estimating the yielding strength and maximum strength of specimens on the basis of yield line theory, strength formula of beam-to-column connections with concrete-filled steel tubular column was suggested.

- 1) 공학박사
- 2) 한남대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- 3) 대전대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- 4) 아주대학교 건축공학과 교수, 공학박사
- 5) 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 포철석좌교수

본 논문에 대한 토의를 1997년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 토의회답을 게재하겠습니다.

**핵심용어** : 철근, 콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부, 항복선 이론, 접합부의 내력식

**KEYWORDS** : concrete-filled steel tubular column to H-beam connections, reinforced bars, yield line theory, strength formula of beam-to-column connections

## 1. 서론

현재 건물의 고층화 추세에 따라 바람직한 구조 시스템은 수직 하중은 물론 수평하중을 더욱 효율적으로 지지할 수 있는 것으로 되어야 한다. 이것은 단면의 증가율에 비해서 내력의 증가율이 높은 기둥 부재를 요구한다는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 점에서 콘크리트 충전 각형강관을 기둥 부재로 이용하면, 단면의 변화 없이 내력과 변형 능력을 크게 증가시킬 수 있으므로 효율성이 높은 구조를 얻을 수 있다.

그러나, 기존의 H형 단면재를 기둥 부재로 사용하는 경우에 비해서 구조적으로 유리하지만, 단면의 형태상 폐단면이므로 기둥-보 접합부의 시공이 까다롭고 다양하게 개발되지 않는다는 점이 문제점으로 지적될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 상기의 문제점을 고려하여 충전형 강관 콘크리트 구조에 있어서 철근을 강관기둥내에 관통시켜 철근의 콘크리트 내에서의 부착 강도와 보 플랜지와 용접 강도를 이용한 접합부의 개발을 연구 목적으로 하며, 1차적으로 보의 인장플랜지와 충전 각형강관 기둥 접합부와 인장거동을 실험적으로 관찰한 후, 내진 설계 개념을 적용하여 수평 하중을 반복적으로 가할 경우의 접합부 실험을 실시하고, 제시한 접합부의 내력 및 변형 특성을 파악하여 향후 국내의 콘크리트충전 강관구조 규준 제정에 필요한 기초 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 재료 시험

### 2.1 강재 및 철근 인장강도 시험

시험체 제작에 사용된 강재의 역학적 성질을 파악하기 위하여 KS B 0801의 금속재료 인장 시험편 규정에 따라 각형강관과 강판의 인장시험편을 각각 3개씩 제작한다.

각형강관의 인장시험편은 용접부를 제외한 평판부에서 길이 방향으로 평행하게 절취하여 제작한다. 강재의 재질은 각형강관의 경우 SPSR400이고, 강판의 경우는 SS400이며, 철근의 경우에는 SD400이다.

각 시험편의 시험결과를 평균하여 항복응력( $\sigma_y$ ), 인장강도( $\sigma_u$ ), 항복비( $\sigma_y/\sigma_u$ )를 표 1에 나타내었다.

특히 각형강관 시험편의 인장강도 시험 결과, 항복응력도는 3.7t/cm<sup>2</sup>으로 공칭 항복응력도 2.4t/cm<sup>2</sup>보다 높게 나타났으며, 이는 냉간가공에 의한 잔류응력에 기인한 것으로 생각된다.

표 1. 강재 및 철근의 인장강도 시험결과

시험체	$\sigma_y$ (t/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (t/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_y/\sigma_u$	Elo. (%)	
강판 (8mm)	3.70	4.57	0.81	24.87	
보플랜지 (8mm)	2.80	3.90	0.72	28.50	
철근	D13	4.66	8.19	0.57	13.00
	D16	4.40	7.24	0.61	15.00
	D19	4.30	6.62	0.65	18.50
	D22	4.80	6.98	0.69	24.00
	D25	4.00	6.15	0.65	26.75

$\sigma_y$  : 항복점    $\sigma_u$  : 인장강도    $\sigma_y/\sigma_u$  : 항복비  
Elo. : 연신율

## 2.2 콘크리트 압축강도 시험

시험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 210kg/cm<sup>2</sup>, 굵은 골재 최대치수 25mm, 슬럼프 12cm인 레미콘을 사용한다.

시험체에 사용된 콘크리트의 압축강도 시험결과는 15개의 공시체에 대한 시험결과를 평균하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 콘크리트 압축강도 시험결과

실 험	설계기준강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	fc' (kg/cm <sup>2</sup> )	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )	slump (cm)
인 장 접합부	210	215	1.4×10 <sup>5</sup>	12
접합부	210	235	1.4×10 <sup>5</sup>	12

fc' : 콘크리트 압축강도, Ec : 콘크리트 탄성계수

## 3. 충전 각형강관 기둥-보플랜지 접합부

### 3.1 시험체 계획

본 실험에 이용한 시험체는 강관기둥에 원형 구멍을 내고 철근을 관통하여 콘크리트를 충전하는 형식으로 계획한다.

콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부에서, 각형강관 기둥의 압축역은 콘크리트 충전에 의해 강관의 면의 휨변형이 구속되지만, 인장역은 콘크리트충전으로 인해 강관 웨브측의 면의 변형이 일부 구속될지라도 강관 플랜지측의 면의 휨변형의 구속은 어렵다.

따라서, 충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부의 거동파악을 위한 기초단계로써, 콘크리트충전 각형강관 기둥-보플랜지 접합부의 인장실험을 실시하여 인장거동을 파악하고, 그 결과를 접합부로 확장 적용하여 그 타당성을 검증하고자 한다.

본 실험에 사용된 시험체의 형상과 치수는 그림 1에 나타내었다. 시험체 제작방법은 먼저 강관 벽에 철근 지름보다 조금 크게 구멍을 뚫고, 각형강관에 플랜지를 용접한다. 그 구멍에 철근을 관

통시켜 철근과 플랜지를 모살 용접한다. 그리고 마지막으로 콘크리트를 충전하였다. 본 실험에서는 용접길이는 모두 일정하게 하고 철근량을 변수로 하였다. 인장플랜지의 단면적에 대한 철근량의 비는 표 3에 나타낸 바와 같다.

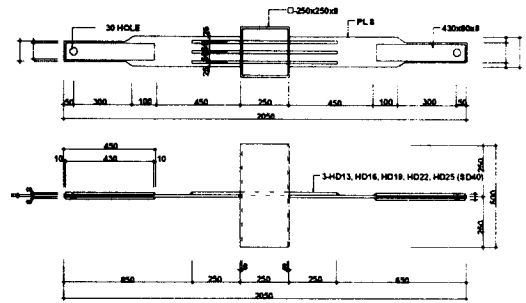


그림 1. 보플랜지 접합부 시험체의 형상 및 치수

표 3. 인장플랜지 단면적에 대한 철근량의 비

시험체	철 근	단면적비	시험체수
RB13	HD13 (SD40)	31.68 %	1
RB16	HD16 (SD40)	49.65 %	1
RB19	HD19 (SD40)	71.62 %	1
RB22	HD22 (SD40)	96.77 %	1
RB25	HD25 (SD40)	126.68 %	1

### 3.2 가력 및 측정방법

가력은 만능 시험기에 설치하여 단순 인장하는 방법으로 하였으며, 재하는 최대 내력을 지나 파괴모드를 얻을 때까지 진행하였다.

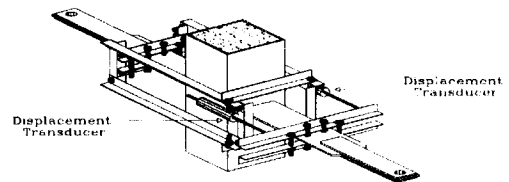


그림 2. 변위측정 장치

변형 측정은 그림 2에 나타낸 측정장치를 사용하였는데, 인장플랜지 사이에 950mm의 표점거리를 설정하고 좌우 2개의 변위계(D.T.)를 설치하여 측방향 변위를 측정하였다.

또한, 강관벽과 인장플랜지의 용력 흐름을 파악하기 위하여 강관벽으로부터 5cm 떨어진 곳에 좌우 3개씩, 와이어 스트레인 게이지(W.S.G.)를 부착하여 측정하였다.

### 3.3 실험 결과

보플랜지 접합부 시험체의 실험결과는 그림 3에 나타내었으며, 그림에서 횡축은 표점거리 950mm간의 축변위이고 종축은 인장하중이다.

RB13 시험체는 약 18ton에서 철근이 항복하기 시작하였고, 철근의 항복으로 인하여 강관벽과 인장플랜지와의 용접부의 내력으로 저항하여 최대 내력에 도달하였다. 이것은 철근 단면적이 인장플랜지 단면적의 31.68%로서 과부족임을 의미한다.

RB16, RB19, RB22, RB25 시험체는 각 시험체의 접합부에서는 실험 종료시까지 내력상 전혀 이상이 없는 것으로 나타났고, 인장플랜지의 인장력에 의해서 종국내력이 결정되었다.

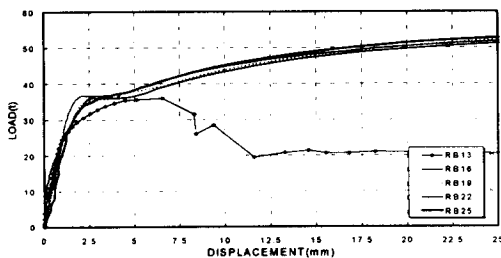


그림 3. 플랜지 접합부의 하중-축변위 관계 곡선

일반적으로, 골조의 붕괴형식은 보 붕괴형으로 되는 것이 바람직하다고 할 때, 본 연구의 접합방식은 철근을 이용하는 간단한 방법으로 보 붕괴형의 강접합을 얻을 수 있으며, 보플랜지와 철근의

용접길이를 본 연구에서는 철근 1본당 25cm로 하였으나, 항복내력을 평가해 본 결과 약 10cm 이내로 하여도 충분한 것으로 판단된다.

또한, 용접길이를 줄일 수 있는 가능성으로 보아, 시공성에 있어서 장점으로 인정된다.

## 4. 충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부

### 4.1 시험체 계획

시험체에 사용한 기둥 부재인 각형강관은 강종 SPSR400의 □-250×250×8(mm)로서 폭-두께비는 27. 25이며, 보 부재인 H형강은 강종 SS400의 H-300×150×6.5×9(mm)이고, 충전 콘크리트의 압축강도는  $f'_c=235\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 사용한다. 또한, 보강철근은 콘크리트의 충전성을 향상시키기 위해서 단면적을 줄일수 있도록 고강도 철근인 HD13, HD16, HD19를 이용한다.

실험의 주요변수는 용접길이를 일정하게 하고 철근량의 비로 선정하였으며, 보부재의 인장플랜지에 대한 철근량의 비를 강도비로 환산하여 36%, 59%, 79%로 계획하여 단순가력 시험체 3개와 반복가력 시험체 2개로 총 5개의 시험체를 제작하였고, 그 내용은 표 4, 그림 4 및 그림 5와 같다.

표 4. 철근보강 보-기둥 접합부 시험체 일람

시험체명	철근	단면적비	강도비	갯수	가력방법
M-RB13	HD13	24%	36%	1	단순가력
M-RB16	HD16	40%	58%	1	단순가력
M-RB19	HD19	53%	78%	1	단순가력
C-RB13	HD13	24%	36%	1	반복가력
C-RB16	HD16	40%	58%	1	반복가력

M-RB16  
 철근의 종류 : SD400  
 ┌ 철근직경 (RB13:HD13, RB16:HD16, RB19:HD19)  
 └ 가력방법 (M : Monotonic, C : Cyclic)

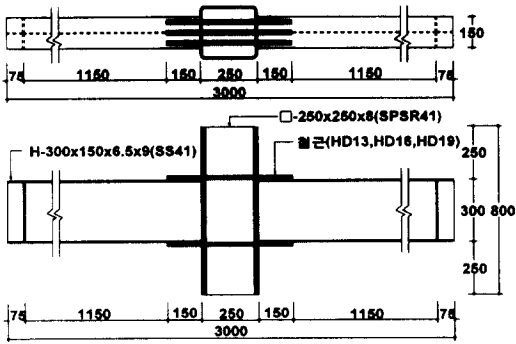


그림 4. 단순가력 시험체의 형상 및 치수

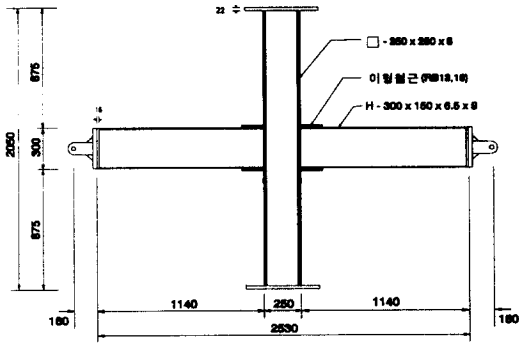


그림 5. 반복가력 시험체의 형상 및 치수

## 4.2 가력 및 측정방법

### (1) 단순가력 실험

가력은 유압식 만능 시험기를 사용하여 단순재 하하는 방법으로 실시하며, 시험체 양단의 지지조건을 힌지조건으로 그림 6과 같이 설치한다. 측정은 변위계(Displacement Transducer, 이하 D.T.로 표기)와 W.S.G.를 설치하여 실시하고, D.T.1은 시험체 중앙에 설치하여 중앙점의 처짐량을, D.T.2, D.T.3은 중앙부의 보조 측정장치에 설치하여 처짐량 및 회전량을 측정하고, D.T.4, D.T.5는 시험체 양단에 설치하여 지점의 침하량을 측정한다.

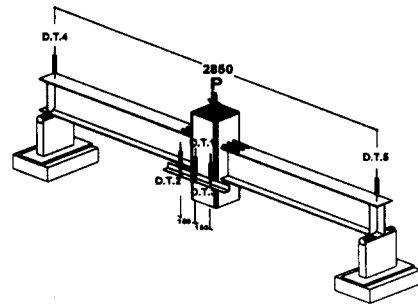
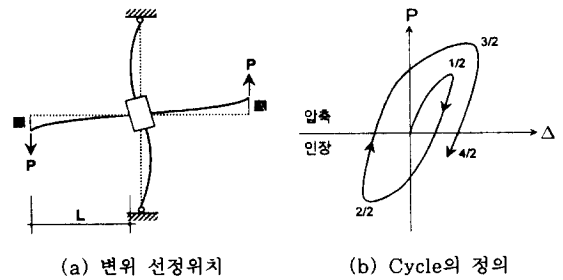


그림 6. 단순가력 시험체 가력 및 측정 상황

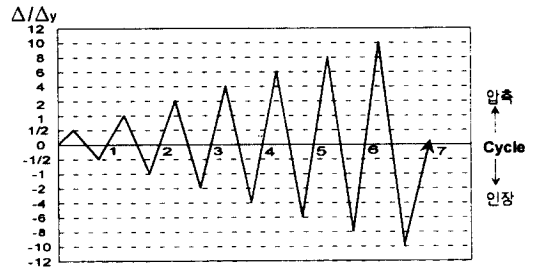
### (2) 반복가력 실험

가력은 가력프레임을 사용하여 점중변위제어 방법으로 실험을 실시한다.



(a) 변위 선정위치

(b) Cycle의 정의



(c) 점중변위제어 방법

그림 7. 하중제어 계획

점중변위제어 방법은 보부재의 재료시험에서 얻은 항복변형도( $\epsilon_y$ )를 이용하여 보부재의 항복변위  $\Delta y (= \epsilon_y L)$ 를 구한 다음 점중변위제어를 실시하며, 제1사이클에서  $\pm 1/2 \Delta y$ , 제2사이클에

서  $\pm 1\Delta y$ , 제3사이클에서  $\pm 2\Delta y$ , 제4사이클에서  $\pm 4\Delta y$ 의 변위진폭을 주기로 한다(그림 7 참조).

시험체의 설치는 각형강관 기둥의 상하단에 힌지 구조를 이용하여 구속 조건을 편으로 하고 가력부인 보의 양선단부에도 가력용 힌지 구조를 설치하여 오일잭(Oil Jack) 상하단에서 회전이 가능하도록 한다.

또한, 가력점인 보의 양 선단부의 가력 힌지 구조는 H형강의 전단중심에 일치시켜 인장, 압축시 보에 면외 좌굴이 발생하지 않도록 설치하였다.

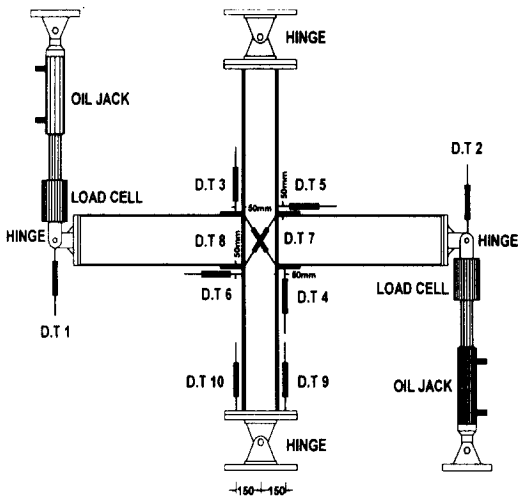


그림 8. 반복가력 시험체의 가력 및 측정 상황

가력방법은 그림 8과 같이 기둥에 축력을 가하지 않는 무축력 상태에서 점증변위제어 방법으로 하중을 제어하며 역대칭 반복가력한다.

하중의 측정은 인장 압축 복동식 로드셀을 사용하여 측정하며, 변위의 측정은 그림 8과 같이 10개의 변위를 이용하여 가력부인 보의 양선단부의 변위와 보-기둥 접합부의 회전각, 패널존의 전단변형 및 기둥 단부의 회전각을 측정한다.

#### 4.3 실험결과

#### (1) 단순가력 실험

단순가력 실험에서 얻은 각 시험체의 하중-변위 관계를 그림 9 및 표 5에 나타내었으며, 그림에서 종축은 가력하중이고, 횡축은 시험체 중앙점의 변위이다. 항복하중의 결정은 각 시험체별 하중-변위 관계로부터 초기강성 구배를 갖는 직선과 초기강성 구배의 1/3인 직선을 평행이동시켜 두 직선의 교점을 항복내력으로 정하였다.

표 5. 철근보강 접합부 단순가력 시험체의 실험결과

시험체	$Q_y$ (ton)	$Q_u$ (ton)	$K_i$ (ton/mm)
M-RB13	10.61	26.67	2.49
M-RB16	16.00	32.06	2.26
M-RB19	21.20	33.05	3.00

$Q_y$  : 항복내력  $Q_u$  : 최대내력  $K_i$  : 초기강성

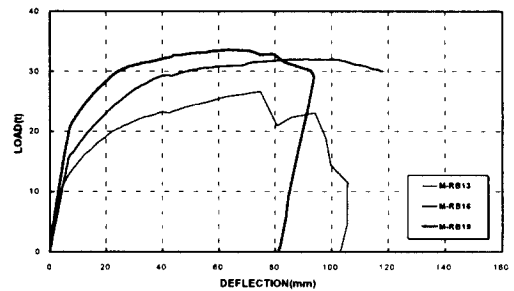


그림 9. 철근보강 접합부 단순가력 시험체의 하중-변위관계 곡선

실험결과, M-RB13 시험체는 약 11ton에서 철근이 항복하기 시작하였고, 철근의 항복으로 인하여 강관벽과 H형강 보플랜지 용접부의 내력으로 저항하다가, H형강 압축측 플랜지의 국부좌굴과 철근의 파단으로 최대내력이 결정되었다. 이는 M-RB13 시험체의 H형강 인장측 플랜지에 대한 단면적비가 강도비로 환산하여 36%로 철근량이 과부족함을 의미한다.

M-RB16와 M-RB19 시험체의 경우, 각 시험체의 접합부에서는 실험 종료시까지 내력상 전력이상이 없는 것으로 나타났고, H형강의 국부좌굴

에 의해서 종극내력이 결정되었다. 이들 시험체의 최대내력은 비슷하게 나타났지만, 초기강성 및 항복내력은 M-RB16 시험체가 M-RB19 시험체보다 다소 낮게 나타났다. 이는 M-RB16와 M-RB19 시험체 모두 보 붕괴형의 최대내력은 확보할 수 있으나, M-RB16 시험체의 H형강 인장축 플랜지에 대한 단면적비가 강도비로 환산하여 58%로 철근량이 보 붕괴형의 강접합을 얻는데는 다소 부족한 것으로 나타났다.

(2) 반복가력 실험

반복가력 실험에서 얻은 각 시험체의 하중-변위 관계를 그림 10 및 표 6에 나타내었으며, 그림에서 종축은 가력하중이고, 횡축은 시험체 보 단부의 가력점의 변위이다.

실험결과, 제 1사이클 동안에는 탄성적인 거동을 보였으나, 그 이후의 사이클에서는 완전 탄소성 거동을 하였다. 철근의 보강량에 따라 항복 및 최대내력은 다소 차이가 있으나, 전체적인 이력거동의 형태는 철근량에 관계없이 대체로 역 S자형을 나타내었다.

실험종료시까지 패널존의 변형은 그다지 발생하지 않았으며, H형강이 용접된 각형강관의 플랜지부는 인장변형 및 용접부 파단 현상이 제 2사이클 이후부터 발생하였지만, 단순압축 실험에서 나타났던 H형강 압축축 플랜지의 국부좌굴 현상은 발생하지 않았다.

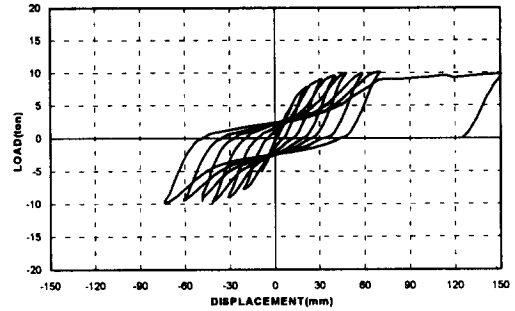
또한, 사이클이 진행됨에 따라 최대내력의 감소는 발생하지 않았으나, 강성의 감소는 현저하게 나타나는 Pinching 현상이 나타났다.

철근보강 접합부 반복가력 실험 결과, 사이클 수 및 변위 진폭의 증대에 따른 Pinching현상의 영향에 의한 강성의 저하는 보플랜지 응력분포가 전반적으로 보플랜지 단부에 응력이 크게 작용하며, 이러한 응력집중의 영향으로 강관과 보플랜지 용접부에서 강관의 Punching Shear에 의한 H형강 보플랜지와 각형강관의 용접부파단, 충전 콘크리트의 지압파괴의 영향으로 사료된다.

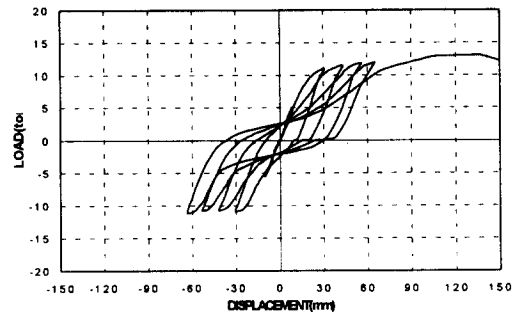
표 6. 철근보강 접합부 반복가력 시험체의 실험결과

시험체	Qy (ton)	Qu (ton)	Ki (ton/mm)
C-RB13	6.97	10.13	0.87
C-RB16	8.91	12.98	0.92

Qy : 항복내력    Qu : 최대내력    Ki : 초기강성



(a) C-RB13 시험체



(b) C-RB16 시험체

그림 10. 철근보강 접합부 반복가력 시험체의 하중-변위관계 곡선

단순가력 실험결과와 반복가력 실험에 의한 이력거동으로 볼때, 보강 철근의 단면적이 H형강 플랜지의 단면적에 대해 100%정도 확보되면 H형강의 보 플랜지에서 전달되는 인장 및 압축응력의 전달은 충분히 가능하지만, 접합부의 강성저하 현상을 방지하기 위해서는 용접부의 국부파단 및 충전 콘크리트의 지압파괴를 방지할 수 있는 방안이 필요한 것으로 사료된다.

## 5. 접합부의 내력평가

### 5.1 내력평가 개요

철근보강 접합부의 내력은 강관기둥의 부담내력과 보강철근의 부담내력의 누가로 평가할 수 있는 것을 고려하여 각각의 부담내력을 분리하여 이하에서 고찰한다.

본 연구에서는 보강철근이 없이 보플랜지가 직접 강관벽에 용접되어 붙어 있는 경우의 항복내력에 대한 예측식으로 기존에 연구되어 제안된 평가식을 일부 수정하여 단순화한 후, 이를 이용하기로 한다.

본 연구에서 사용한 무보강 강관 접합부의 항복내력에 대한 예측식으로는 항복선 이론을 이용한 T. R. Higgins의 모델이 있고, 그후에 이를 수정한 G. Davies, J. A. Packer의 모델과 森田耕次の 모델이 있으며, CIDECT의 모델과 이를 약간 수정한 B. Kato 등의 내력평가식이 있다.

### 5.2 강관기둥-보플랜지 접합부의 내력평가

#### (1) 항복 내력 평가

철근보강 강관기둥-보플랜지 접합부의 항복내력은 다음의 3가지 형식에 의해서 파괴되리라 예상하여 산정한다.

case1) 강관벽과 보플랜지 사이의 접합부 인장 파괴

case2) 인장플랜지와 철근의 용접부 전단파괴

case3) 보플랜지의 인장파괴

i) case1 ( $P_y$ )

철근이 없이 보플랜지가 직접 강관벽에 용접되어 붙어있는 경우의 항복내력( $P_{cy}$ )과 철근만이 있는 경우의 항복내력( $P_{ry}$ )을 누가하여 항복내력으로 추정한다.

철근이 없이 보플랜지가 직접 강관벽에 용접되

어 붙어있는 경우의 항복내력에 대한 예측식은 다음과 같다.

· T. R. Higgins 항복내력식

$$P_{cy} = t_c \left\{ B_c + \frac{72 t_c^2}{B_c - B_b} \right\} \cdot \frac{c \sigma_y}{6} \quad (1)$$

여기서,  $B_c$ 는 강관의 폭,  $B_b$ 는 보플랜지의 폭,  $t_c$ 는 강관의 두께,  $c \sigma_y$ 는 강관의 항복점이다.

$$P_{cy} = 2M_p \left\{ 8 \sqrt{\frac{b_c}{2y} + \frac{t_b}{y}} + \frac{4(y-m) \cdot (y-m+t_b)}{\sqrt{3} \cdot t_c \cdot y} \right\} \quad (2)$$

· G. Davies & J. A. Packer 항복내력식

$$\text{여기서, } M_p = \frac{t_c^2 \cdot c \sigma_y}{4}, \quad b_c = B_c - t_c.$$

$m = (b_c - B_c)/2$ ,  $t_b$ 는 보플랜지두께이다.

또한, 식(2)의  $y$ 는 식(3)의 해이다.

$$4y^2 - 2\sqrt{6} t_c \cdot \sqrt{b_c \cdot y} - (\sqrt{3} t_b \cdot t_c - 4 t_b \cdot m + 4m^2) = 0 \quad (3)$$

· 森田耕次 항복내력식

$$P_{cy} = 2 M_p \cdot b_c \cdot \frac{(4x + t_b)}{x^2} + 2 \left\{ x - \frac{1}{2 M_p} \cdot \frac{m \cdot b_c}{x} \right\}^2 \cdot \frac{t_b \cdot b \cdot \sigma_y}{b_c} \quad (4)$$

여기서, 식(4)의  $x$ 는 식(5)의 해이다.

$$4 M_p^2 \cdot t_b \cdot b \cdot \sigma_y \cdot x^4 - 8 M_p^3 \cdot b_c^2 \cdot x - M_p^2 \cdot b_c^2 \cdot \{ 4 M_p \cdot t_b + m^2 \cdot t_b \cdot b \cdot \sigma_y \} = 0 \quad (5)$$



여기서,  $b_c = B_c - t_c$

$M_p$ : 전소성모멘트 ( $= t_c^2 \cdot c \cdot \sigma_y / 4$ )

$b\sigma_y$ : 보플랜지의 항복점

$t_b$ : 보플랜지의 두께

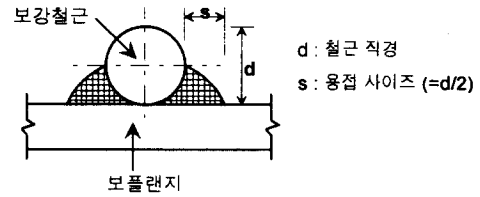


그림 11. 플랜지와 철근의 용접형상

· CIDECT 항복내력식

$$P_{cy} = \frac{8M_p}{1-\beta} \left( \frac{t_b}{B_c} + 2\sqrt{1-\beta} \right) \quad (6)$$

여기서,  $\beta = B_b/B_c < 0.85$ ,  $M_p = t_c^2 \cdot c \cdot \sigma_y / 4$

· B. Kato 항복내력식

$$P_{cy} = \frac{8M_p}{1-\beta'} \left( \frac{t_b}{B_c'} + 2\sqrt{1-\beta'} \right) \quad (7)$$

여기서,  $\beta' = B_b/B_c'$

$$B_c' = B_c - (4 - 1.5\sqrt{2}) \cdot t_c$$

또한, 철근만에 의한 항복내력의 평가식은 다음과 같다.

$$P_{ry} = n \cdot a_1 \cdot r\sigma_y \quad (8)$$

여기서,  $n$ 은 철근의 본수,  $a_1$ 은 철근 한 본당 단면적,  $r\sigma_y$ 는 철근의 항복점이다.

이상의 식에 의해서 계산된 항복내력을 누가하여 case1의 항복내력 평가식으로 사용한다

$${}_1P_y = P_{cy} + P_{ry} \quad (9)$$

ii) case2 ( ${}_2P_y$ )

철근은 인장플랜지에 그림 11과 같이 용접되었다고 가정한다

철근이 인장플랜지에 <그림 11>과 같이 용접되었다고 할 경우, 항복내력은 다음 식으로 평가한다.

$${}_2P_y = 2n \cdot a \cdot l \cdot w\sigma_y / \sqrt{3} \quad (10)$$

여기서,  $n$ 은 철근의 본수,  $a$ 는 목두께 ( $=0.7s$ ),  $l$ 은 용접 유효길이,  $w\sigma_y$ 는 용착금속의 항복점이다.

iii) case3 ( ${}_3P_y$ )

보플랜지의 인장 항복내력은 다음 식으로 평가한다.

$${}_3P_y = b\sigma_y \cdot A_f \quad (11)$$

여기서,  $b\sigma_y$ 는 보플랜지의 항복점,  $A_f$ 는 플랜지의 단면적이다.

(2) 최대내력 평가

철근보강 접합부의 최대내력은 항복내력 산정시와 동일한 방법으로 강관의 부담내력과 보강철근의 부담내력의 누가강도로 구한다.

최대내력시 강관의 부담내력은 항복이후 변형이 증가하여도 강관의 면의 휨변형에 의한 항복선의 내력은 소성흔지 작용으로 증가하지 않는 것으로 가정하여 항복내력 산정시 적용한 항복내력을 최대내력시에도 그대로 적용한다.

철근보강 강관기둥-보플랜지 접합부의 최대내력은 항복내력 산정시와 같이 3가지 형식에 의해서 파괴되리라 예상하여 산정한다.

표 7. 항복 및 최대 내력의 평가치와 실험치의 비교

(단위: ton)

시험체	실험치		제안식	평가치						비교치	
	EPy	EPu		TI Py	TII Py	TIIPy	TI Pu	TII Pu	TIIPu	TPy/EPy	TPu/EPu
RB13	33.50	35.94	①	32.36	66.20	33.60	45.81	92.21	46.80	0.97	1.27
			②	32.58			46.03			0.97	1.28
			③	33.33			46.81			0.99	1.30
			④	33.16			46.61			0.99	1.30
			⑤	34.01			47.45			1.02	1.32
RB16	36.66	52.69	①	40.87	81.48	33.60	57.83	133.48	46.80	0.92	0.89
			②	41.09			58.05				
			③	41.85			58.83				
			④	41.67			58.63				
			⑤	42.52			59.47				
RB19	35.40	53.77	①	51.63	96.75	33.60	71.60	134.76	46.80	0.95	0.87
			②	51.85			71.82				
			③	52.60			72.61				
			④	52.43			72.40				
			⑤	53.27			73.25				
RB22	36.17	52.59	①	70.33	112.03	33.60	95.64	156.04	46.80	0.93	0.89
			②	70.55			95.86				
			③	71.31			96.65				
			④	71.13			96.44				
			⑤	71.98			97.29				
RB25	36.00	53.72	①	75.45	127.31	33.60	108.15	177.32	46.80	0.93	0.87
			②	75.66			108.37				
			③	76.42			109.15				
			④	76.24			108.94				
			⑤	77.09			109.79				

EPy : 실험치 항복내력,

EPu : 실험치 최대내력

TI Py : 평가치 항복내력(case1)

TII Py : 평가치 항복내력(case2).

TIIPy : 평가치 항복내력(case3).

TII Py : 평가치 최대내력(case1).

TI Pu : 평가치 최대내력(case2).

TIIPu : 평가치 최대내력(case3)

① : T. R. Higgins ② : Davies & Packer ③ : 森田耕次 ④ : CIDECT ⑤ : B. Kato

i) case1 ( ${}_I P_u$ )

철근이 없이 보플랜지가 직접 강관벽에 용접되어 붙어있는 경우의 항복내력( $P_{cy}$ )과 철근만이 있는 경우의 최대내력( $P_{ru}$ )을 누가하여 최대내력으로 추정한다. 철근만에 의한 최대내력의 평가식은 다음과 같다.

$$P_{ru} = n \cdot a_1 \cdot r \sigma_u \quad (12)$$

여기서,  $n$ 은 철근의 본수,  $a_1$ 은 철근 한 본당

단면적,  $r \sigma_u$ 는 철근의 인장강도이다. 이상의 식에 의해서 계산된 최대내력을 누가하여 case1의 최대내력 평가식으로 사용한다

$${}_I P_u = P_{cy} + P_{ru} \quad (13)$$

ii) case2 ( ${}_n P_u$ )

철근이 인장플랜지에 <그림11>과 같이 용접되었다고 할 경우, 최대내력은 다음 식으로 평가한다.

$${}_n P_u = 2n \cdot a \cdot l \cdot w\sigma_u / \sqrt{3} \quad (14)$$

여기서,  $n$  은 철근의 본수,  $a$  는 목두께 (=0.7s),  $l$  은 용접 유효길이,  $w\sigma_u$  는 용착금속의 인장강도이다.

### iii) case3 ( ${}_m P_u$ )

보플랜지의 인장 최대내력은 다음 식으로 평가한다.

$${}_m P_u = b\sigma_u \cdot A_f \quad (15)$$

여기서,  $b\sigma_u$  는 보플랜지의 인장강도,  $A_f$  는 플랜지의 단면적이다.

이상의 각각의 경우 항복 및 최대내력의 평가치와 실험치의 비교를 표 7에 나타내었는데, 각 경우의 평가치중 최소치를 항복 및 최대내력의 평가치(밀출친 값)로하여, 실험치와의 비도 함께 나타내었다.

표 7에서 보는 바와 같이 상기의 항복내력의 평가 방법은 실험결과를 잘 설명해주고 있는 것으로 볼 수 있다.

각각의 실험치에 대한 평가치의 비가 항복내력의 경우는 0.92~1.02로 나타났고, 최대내력의 경우는 0.87~1.32으로 나타났다.

case1의 내력에 의해 접합부의 내력이 결정된 시험체는 RB13 시험체 하나 뿐이며, 그의 다른 시험체의 경우는 case3의 내력에 의해 항복 및 최대내력이 결정되었다. 철근보강 인장접합부 시험체는 접합부가 다소 강하게 계획되었다.

기존의 연구에 의한 내력식을 이용하여 항복내력을 평가한 결과, 각각의 실험치에 대한 평가치의 비가 0.97~1.02로 각 내력식이 실험치와 비교적 좋은 대응을 보이고 있다.

그러나, 최대내력의 경우는 기존의 연구에 의한 내력식을 이용하여 평가한 결과, 각각의 실험

치에 대한 평가치의 비가 1.27~1.32로 평가치는 내력을 다소 과대평가하고 있는데, 이는 철근과 보플랜지는 용접하여 접합하였지만 철근과 강관기둥은 용접하지 않았기 때문에 최대내력시 강관의 부담내력이 감소한 원인때문으로 추측된다.

case2의 경우의 항복내력의 평가치는 다른 경우에 비해서 월등히 높은데, 이것은 용접길이를 지나치게 길게 하였기 때문이다. 시공성의 면에서 철근 1본당의 용접길이를 10cm 이내로 하여도 보 붕괴의 파괴형식으로 유도하기에 충분하리라 사료된다.

## 5.3 강관기둥-H형강 접합부의 내력 평가

콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 철근보강 접합부의 항복전단내력( $Q_y$ )과 최대전단내력( $Q_u$ )은 5.2절에서 적용하였던 항복선 이론에 의해 구한 콘크리트충전 각형강관 기둥-보플랜지 접합부의 인장항복내력( ${}_T P_y$ )과 인장최대내력( ${}_T P_u$ )을 이용하여 다음의 식(16)과 같이 근사적으로 구할 수 있다.

$$Q_y = {}_T P_y \cdot h_b / l_b \quad (16)$$

$$Q_u = {}_T P_u \cdot h_b / l_b$$

${}_T P_y$  : 접합부의 항복모멘트를 보플랜지 응력중심 거리의 우력으로 치환한 인장항복내력

${}_T P_u$  : 접합부의 전소성모멘트를 보플랜지 응력중심 거리의 우력으로 치환한 인장최대내력

$h_b$  : 보플랜지의 응력중심 거리

$l_b$  : 보의 가력점으로부터 강관기둥 플랜지까지의 거리

이상과 같이 항복선 이론에 의해 구한 콘크리트충전 각형강관 기둥-보플랜지 접합부의 인장항복 및 최대내력을 이용하여 콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 철근 및 강관보강 접합부의 항복 및 최대전단내력을 산정하는 방법을 이하에서

기술한다.

(1) 항복전단내력 평가

철근보강 강관기둥-H형강보 접합부의 항복내력은 다음의 3가지 형식에 의해서 파괴되리라 예상하여 산정한다.

case1) 강관벽과 보플랜지 사이의 접합부의 휨 파괴

case2) 인장플랜지와 철근의 용접부 전단파괴

case3) H형강보의 휨파괴

i) case1 (  ${}_I Q_u$  ) 및 case2 (  ${}_{II} Q_u$  )

case1과 case2의 항복전단내력 산정시,  ${}_I P_y$  와  ${}_{II} P_y$  는 5.2절에서 산정한 인장 항복내력식과 동일하게 적용하는 것으로 한다.

ii) case3 (  ${}_{III} Q_u$  )

H형강보의 휨항복시, 강관기둥-H형강보 접합부의 항복전단내력은 강관기둥 플랜지와 H형강보의 접합부에서 항복모멘트를 보플랜지의 응력중심 거리의 우력으로 치환하여 다음과 같이 산정한다.

$${}_{III} P_y = Z \cdot \sigma_y / h_b \quad (17)$$

여기서,  $Z$  는 H형강보의 단면계수,  $\sigma_y$  는 보플랜지의 항복응력도,  $h_b$  는 보플랜지의 응력중심 거리이다.

(2) 최대 전단내력 평가

철근보강 강관기둥-H형강보 접합부의 최대전단내력 산정은 5.2절에서 적용하였던 최대내력시 강관의 부담내력은 항복이후 변형이 증가하여도 강관의 면의 휨변형에 의한 항복선의 내력은 소성힌지 작용으로 증가하지 않는 것으로 한 강관기둥-보플랜지 항복선 가정을 그대로 적용하고, 항복전단내력 산정과 동일한 방법으로 강관의 부담내력과 보강철근 또는 보강강관의 부담내력의 누가 강도로부터 식(16)에 의해 산정한다.

철근보강 강관기둥-H형강보 접합부의 최대전단내력은 항복전단내력 산정시와 같이 다음의 3가지 형식에 의해서 파괴되리라 예상하여 산정한다.

i) case1 (  ${}_I Q_u$  ) 및 case2 (  ${}_{II} Q_u$  )

case1과 case2의 최대전단내력 산정시,  ${}_I P_u$  와  ${}_{II} P_u$  는 5.2절에서 산정한 인장 최대내력식인 식(13)과 식(14)를 동일하게 적용하는 것으로 한다.

ii) case3 (  ${}_{III} Q_u$  )

H형강보의 휨항복시, 강관기둥-H형강보 접합부의 최대전단내력은 강관기둥 플랜지와 H형강보의 접합부에서 전소성모멘트를 보플랜지의 응력중심 거리의 우력으로 치환하여 다음과 같이 산정한다.

$${}_{III} P_y = Z_p \cdot \sigma_y / h_b \quad (18)$$

여기서,  $Z_p$  는 H형강보의 소성단면계수,  $\sigma_y$  는 보플랜지의 항복응력도,  $h_b$  는 보플랜지의 응력중심 거리이다.

이상과 같이 각각의 경우 항복 및 최대내력의 평가치와 실험치의 비교를 표 8에 나타내었는데, 각 경우의 평가치중 최소치를 항복 및 최대내력의 평가치(밀줄친 값)로하여, 실험치와의 비도 함께 나타내었다.

이상의 표 8에서 보는 바와 같이 상기의 항복내력의 평가 방법은 실험결과를 잘 설명해주고 있는 것으로 볼 수 있다.

각각의 평가치에 대한 실험치의 비가 항복내력의 경우는 0.93~1.07로 나타났고, 최대내력의 경우는 1.06~1.19로 나타났다.

case1의 내력에 의해 접합부의 내력이 결정된 시험체는 M-PC16 시험체의 항복내력의 경우이며, 그외 다른 시험체의 경우는 case3의 내력에 의해 항복 및 최대내력이 결정되었다.

기존의 연구에 의한 내력식을 이용하여 항복내력을 평가한 결과 M-PC16 시험체의 경우로 보면, 각각의 평가치에 대한 실험치의 비가 항복내력은 1.04~1.07으로 각 내력식이 실험치와 비교적 좋은 대응을 보이고 있으며, 강관기둥-보플랜지 접합부의 인장력에 적용한 평가식을 단순휨가력 및 반복가력 거동에 대한 강관기둥-H형강보

표 8. 항복 및 최대 내력의 평가치와 실험치의 비교

(단위: ton)

시험체	실험치		계안 식	평가치						비교치	
	EQy	EQu		TIQy	TIIQy	TIIQy	TIQu	TIIQu	TIQQu	TQy/EQy	TQu/EQu
M-RB13	5.31	13.34	①	7.17	72.11	12.76	8.89	102.84	14.37	1.35	0.67
			②	7.23			8.95			1.36	0.67
			③	7.36			9.11			1.39	0.68
			④	7.34			9.06			1.38	0.68
			⑤	7.53			9.25			1.42	0.69
M-RB16	8.00	16.03	①	9.59	88.75	12.76	12.24	126.58	14.37	1.20	0.76
			②	9.65			12.30			1.21	0.77
			③	9.79			12.46			1.22	0.78
			④	9.77			12.41			1.22	0.77
			⑤	9.95			12.60			1.24	0.79
M-RB19	10.60	16.53	①	11.77	105.39	12.76	15.88	150.31	14.37	1.11	0.87
			②	11.84			15.94			1.12	
			③	11.97			16.10			1.13	
			④	11.95			16.05			1.13	
			⑤	12.14			16.24			1.15	
C-RB13	6.97	10.13	①	7.17	72.11	12.76	8.89	102.84	14.37	1.03	0.88
			②	7.23			8.95			1.04	0.88
			③	7.36			9.11			1.06	0.90
			④	7.34			9.06			1.05	0.89
			⑤	7.53			9.25			1.08	0.91
C-RB16	8.91	12.98	①	9.59	88.75	12.76	12.24	126.58	14.37	1.08	0.94
			②	9.65			12.30			1.08	0.95
			③	9.79			12.46			1.10	0.96
			④	9.77			12.41			1.10	0.96
			⑤	9.95			12.60			1.12	0.97

EQy : 실험치 항복내력.

EQu : 실험치 최대내력.

TIQy : 평가치 항복내력 (case1).

TIIQy : 평가치 항복내력 (case2)

TIQQu : 평가치 항복내력 (case3).

TIIQu : 평가치 최대내력 (case1)

TIIQy : 평가치 항복내력 (case2).

TIIQu : 평가치 최대내력 (case3)

① : T. R. Higgins ② : Davies & Packer ③ : 森田耕次 ④ : CIDECT ⑤ : B. Kato

접합부에도 적용 가능한 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

(1) 철근보강 각형강관 기둥-H형강보 접합부의 보플랜지 응력분포는 전반적으로 보플랜지 단부에 응력집중 현상이 두드러지게 나타났다. 이와 같이 응력집중의 영향으로 접합부의 파괴에 의해 최대내력이 결정된 시험체는 모두 강관과 보플랜

지 용접부에서 강관의 Punching Shear 파괴가 발생하였다.

(2) 반복가력 실험결과, 전체적인 이력거동의 형태는 철근량에 관계없이 사이클이 진행됨에 따라 소성상태 이후 최대내력의 감소는 없었지만, 강성의 감소는 현저하게 나타나는 Pinching 현상이 두드러진 대체로 역 S자형의 이력거동을 나타내었다.

(3) 철근보강 접합부의 경우, 보 붕괴형의 강

접합을 얻기 위해서는 H형강보의 인장축 플랜지에 대한 보강철근의 단면적비는 강도비 70% 이상이 필요한 것으로 생각되며, 나머지 30% 정도는 강관 및 충전 콘크리트가 부담하는 것으로 판단된다. 그러나, 접합부를 강도비 100% 이상 보강하는 경우 항복 및 최대내력이 보플랜지의 내력에 지배되기 때문에 100% 이상 보강하는 것은 접합부의 내력을 상승시키는데 기여하지 못하며, 70%~100% 정도 보강하는 것이 적절하리라 판단된다.

(4) 철근보강 각형강관 기둥-H형강보 접합부의 항복 및 최대내력을 평가하는 방법으로 3가지 형식의 파괴모드를 상정한 후, 각 경우 중에서 최소치를 주는 것을 항복내력의 평가식으로 하여 실험치와 비교한 결과, 각각의 실험치에 대한 평가치의 비가 항복내력의 경우는 1.03~1.24, 최대내력의 경우는 0.76~0.97로 좋은 대응을 보이고 있다. 이상의 결과로부터 강관기둥-보플랜지 접합부의 인장력에 적용한 평가식을 단순휨가력 및 반복가력 거동에 대한 강관기둥-H형강보 접합부에도 적용 가능한 것으로 판단된다.

감사의 말

본 논문은 '한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터'의 지원을 받아 수행된 것이며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

- (1) O. W. Blodgett, "Design of Welded Structures", The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, June, 1966, pp. 3.6.-6~9
- (2) G. Davies, J. A. Packer, "Predicting the strength of branch plate-RHS Connections for punching shear", CAN. J. CIV. ENG. Vol.9, 1982
- (3) 森田耕次, 江波戸和正, 渡邊人, 山本昇, 安田博和, 里見孝之, "箱形断面柱-H形断面はり接合部ダイアフラム補強に関する研究", 日本建築學會 鋼造系論文報告集 第388號, 1988年 6月
- (4) CIDECT, Comite International pour le Development et l'etude de la Construction Tubulaire "The Strength and Behavior of Statically Loaded Welded Connections in Structural Hollow Sections", CIDECT Monograph, No. 6, England, 1986
- (5) 森田耕次 外 4人, "高張力鋼を用いたコンクリート充てん鋼管柱-鐵骨はり接合部の力學的舉動に関する研究", 日本建築學會 構造系論文報告集, 第446號, 1993. 4.
- (6) 이영렬, 유명찬, 신경재, 오영석, 이승준, 문태섭, "철근을 이용한 충전 강관기둥 접합부의 인장거동", 韓國鋼構造學會誌 제8권 제3호 1996. 9.
- (7) 유명찬, 이승준, 문태섭, "외부다이아프램으로 보강한 콘크리트충전 각형강관 기둥-H형강보 접합부의 거동", 韓國鋼構造學會誌 제9권 제2호 1997. 6.

(접수일자 : 1997. 8. 29)



그림 12. C-RB16 시험체 setting 상황



그림 13. C-RB16 시험체 파괴상황