

철근을 이용한 충전 강관기둥 접합부의 인장거동

Tensile Behavior of Concrete-Filled Column Connections Using Re-bars

이 영 렬¹⁾ · 유 영 찬²⁾ · 신 경 재³⁾
By *LEE, Young Ryule* *YOO, Yeong Chan* *SHIN, Kyung Jae*
오 영 석⁴⁾ · 이 승 준⁵⁾ · 문 태 섭⁶⁾
OH Young Suk *LEE, Seung Joon* and *MOON, Tae Sup*

ABSTRACT : The objective of this study is to investigate the structural behavior of Concrete-Filled Steel Tubular Column connections using reinforced bar. The parameter of specimens is the area of each reinforced bar (SD40 : D13, D16, D19, D22, D25). The simple tensile experiment is conducted to 5 kinds of specimens. Estimating the load, displacement, and strain from each kind, we compared them to basic elementary type (Flange Type, Basic Type, DPA Type, DPB Type).

In each specimen, We can get the yielding load obtained by the theoretical three failure modes which make it possible to predict the experimental results. Actually, through the comparison and analysis, we come to know that the experimental results and theoretical results are nearly the same.

Further, we will exert to apply the connections using reinforced bar to construction of high-rise building.

1. 연구 배경

건축물이 고층화되면서 구조 시스템은 수직하중은 물론 바람, 지진 등의 수평하중을 더욱 효율적으로 지지할 수 있는 것으로 되어야 한다. 이것

은 단면의 증가율에 비해서 내력의 증가율이 높은 기둥부재를 요구한다는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 점에서 콘크리트 충전 각형강관을 기둥부재로 이용하면, 단면의 증가없이 내력과 변형능력을 크게 증가시킬 수 있으므로 효율성이 높은 구조물을 얻을 수 있다. 그러나, 기존의 H형 단면재를 기둥부재로 사용하는 경우에 비해서 구조적으로는 유리하지만, 단면의 형태상 폐단면이므로 기

- 1) 한양대학교 건축공학과 석사과정
- 2) 한양대학교 건축공학과 박사과정
- 3) 한남대학교 건축공학과 부교수
- 4) 대전대학교 건축공학과 부교수
- 5) 아주대학교 건축공학과 부교수
- 6) 한양대학교 건축공학과 교수

* 본 논문은 한양대학교 '초대형 구조시스템 연구센터'의 지원을 받아 수행한 것임.

등-보 접합부의 시공이 까다롭고 다양하게 개발되어 있지 않다는 점이 문제점으로 지적될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 상기의 문제점을 고려하여, 충전형 강관 콘크리트 구조에 있어서 bracket을 사용하지 않는 기둥-보 접합법으로서, 철근을 강관 기둥 내에 관통시키고, 그 철근이 보플랜지와 용접하는 방식의 접합부를 개발하고자 한다.

이와 유사한 접합방식으로 관통형 고력볼트(긴볼트)가 있는데 우리 현실에서 고력볼트를 적극적으로 사용하는 것은 아직 시공상 많은 문제점을 가지고 있으므로, 현장에서 쉽게 구할 수 있는 철근을 이용한다는 점에서 그 장점이 인정된다고 판단된다.

본 연구에서는 이러한 접합방식 개발의 일환으로서, 1차적으로 보의 인장플랜지와 충전 각형강관 기둥 접합부와의 인장거동을 실험적으로 관찰한다.

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 강관의 인장시험편을 각각 3개씩 제작한다.

각형강관의 인장시험편은 용접부를 제외한 평판부에서 길이 방향으로 평행하게 절취하여 제작한다. 강재의 재질은 각형강관의 경우 SPSR41이고, 강관의 경우는 SS400이며, 철근의 경우에는 SD40이다.

각 시험편의 시험결과를 평균하여 항복응력(σ_y), 인장강도(σ_u), 항복비(σ_y/σ_u)를 표 2.1에 나타내었고, 응력-변형도 관계를 각각 그림 2.1, 그림 2.2에 나타내었다.

특히 각형강관 시험편의 인장강도 시험 결과, 항복응력은 $3.7t/cm^2$ 으로 공칭 항복응력도 $2.4t/cm^2$ 보다 높게 나타났으며, 이는 냉간가공에 의한 잔류응력에 기인한 것으로 생각된다.

표 2.1 강재 및 철근의 인장강도 시험결과

시험체	σ_y (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	σ_y/σ_u	Elo (%)	
강관(8mm)	3.70	4.57	0.81	24.87	
보플랜지(8mm)	2.8	3.9	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

σ_y : 항복강도 σ_u : 인장강도 σ_y/σ_u : 항복비 Elo: 연신율

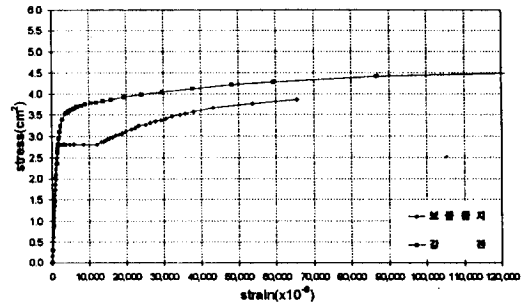


그림 2.1 강재의 응력-변형도 관계 곡선

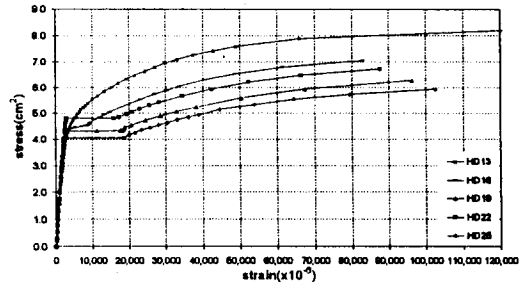


그림 2.2 철근의 응력-변형도 관계 곡선

2.2 콘크리트 압축강도 시험

충전 콘크리트는 설계기준강도 $210kg/cm^2$ 이며, 굵은 골재 최대치수 25mm, 슬럼프 15cm인 래미콘을 사용한다. 콘크리트 타설시 강봉을 사용하여 충분히 다지며, 타설과 동시에 슬럼프 시험을 실시하고, 10개의 강도 시험용 시험체를 제작하여 28일 양생후 강도 시험을 실시한다. 콘크리트 배합비는 표 2.2와 같다.

강도 시험용 공시체는 Φ -100×200mm인 원주형 공시체로서 표준 공시체(Φ -150×300)에 대한 보정값은 측정된 압축강도의 97%로 한다. 콘크리트의 탄성계수는 공시체의 응력도-변형도 곡선에서 최대응력의 1/3점과 원점을 직선으로 연결하여 이 직선의 기울기값으로 한다.

표 2.2 콘크리트 배합비

설계기준 강도 (kg/cm ²)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/A (%)
210	25	12	55.3	46.4
단위 재료량(kg/m ³)				
W (물)	C (시멘트)	S (잔골재)	G (굵은골재)	AD (혼화재)
182	329	837	986	0.559

W/C : 물 시멘트비 S/A : 잔 골재율

콘크리트 압축강도 시험은 유압식 만능 시험기를 사용하여 실시하며, 압축시험 전에 유황 capping을 실시하고 가력부위에 구좌를 설치하여 편심이 생기는 것을 막는다. 각 시험편의 길이 방향으로 4개의 Wire Strain Gauge를 부착하여 이들의 평균값으로 응력도-변형도 관계를 구하였는데, 시험결과와 평균 압축강도는 설계기준강도 210kg/cm²에 근사한 215kg/cm²으로 나타났다.

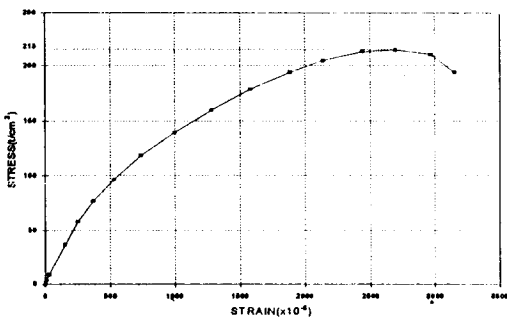


그림 2.3 콘크리트의 응력도-변형도 관계 곡선

3. 기둥-보 접합부 실험

3.1 시험체 계획

본 실험에 사용된 시험체의 형상과 치수는 그림 3.1에 나타내었다. 시험체 제작방법은 먼저 강관 벽에 철근 지름보다 조금 크게 구멍을 뚫고, 각형 강관에 플랜지를 용접한다. 그 구멍에 철근을 관통시켜 철근과 플랜지를 모살용접한다. 그리고 마지막으로 콘크리트를 충전하였다. 플랜지에 작용하는 인장력이 충전 강관기둥에 국부변형을 유발시키지 않고 원활히 전달되기 위해서는, 적어도 인장플랜지와 동일한 단면적 내지는 그 이상의 단면적의 철근량이 필요하며, 철근과 보플랜지와의 용접내력도 충분하여야 한다.

본 실험에서는 용접길이는 모두 일정하게 하고 철근량을 변수로 하였다. 인장플랜지의 단면적에 대한 철근량의 비는 표 3.1에 나타낸 바와 같다. 또한 이와 비교하기 위해서 보플랜지만으로 계획한 Flange Type, 관통철근을 사용하지 않은 Basic Type과 일반적으로 고층 건물의 접합부로 사용되는 방식인 관통형 Diaphragm Type(충전형, 비충전형)을 계획하였다. 이 시험체들에 대한 형상 및 치수를 그림 3.2에 나타내었다.

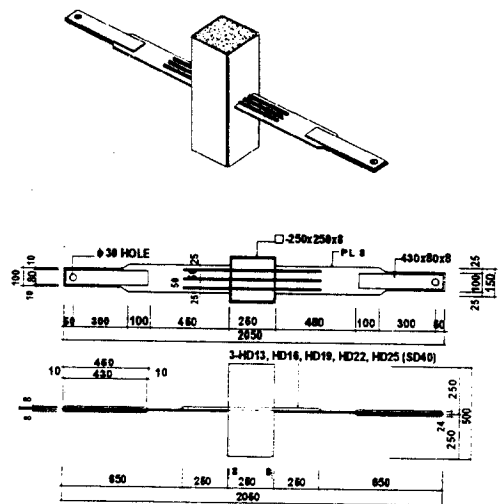
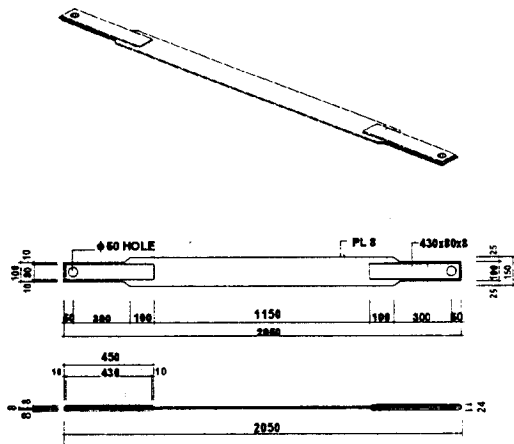
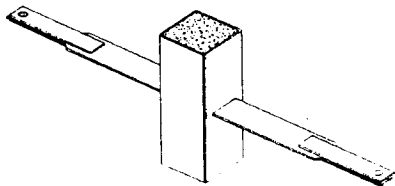


그림 3.1 관통철근 Type 시험체의 형상 및 치수

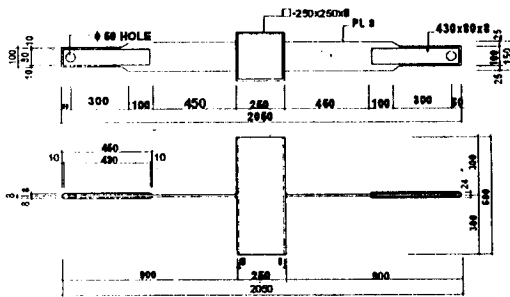


< Flange Type >

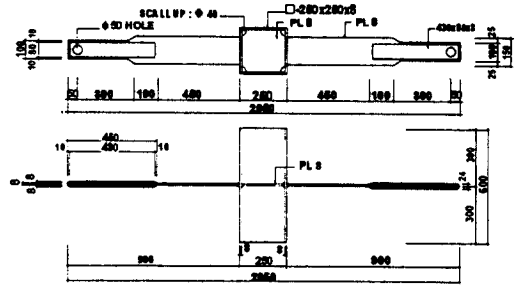


hole : 지름 100mm
CONCRETE 충전

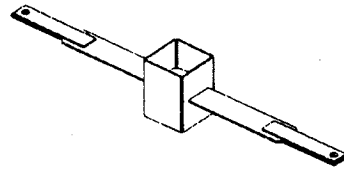
<DPB>



< Basic Type >



< DPA, DPB Type >



CONCRETE 비충전

<DPA>

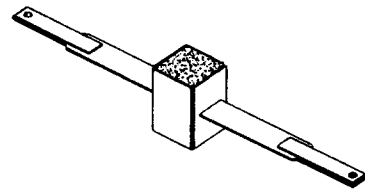


그림 3.2 비교대상 시험체의 형상 및 치수

표 3.1 인장플랜지 단면적에 대한 철근량의 비

시험체	철근	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 측정 방법

가력은 그림 3.3에 나타난 바와 같이 만능 시험기를 이용하여 단순인장하는 방법으로 하였다.

Flange Type의 경우에는 시험체의 중앙부분에 necking 현상이 생길 때까지 진행하였으며, Basic Type의 경우에는 강관벽의 국부변형에 의해서 인장플랜지와 용접부가 파단되어 불안정해질 때

까지 진행하였다.

또한, 관통철근 Type과 관통형 Diaphragm형식 시험체의 경우에는 최대 내력시까지 진행하였다.

변위 측정에는 그림 3.4에 나타낸 측정장치를 사용하였는데, 인장플랜지 사이에 950mm의 표점 거리에 좌우 2개의 Displacement Transducer를 설치하여 축방향 변위를 측정하였다.

강관벽과 인장플랜지와 응력흐름을 파악하기 위하여 강관벽으로 부터 5cm 떨어진 곳에 좌우 3개씩, Wire Strain Gauge를 부착하였다.

3.3 실험 결과

● Flange Type

그림 3.5에 실험 결과를 나타내었다. 종축은 인장하중이며, 횡축은 축방향변위이다. 실험 결과는 인장시험 결과와 유사하며, 시험체 중앙부에서 necking현상이 일어나면서 최대 내력이 결정되었다. 항복내력은 33.0ton, 최대 내력은 45.5ton으로 나타났다.

● 관통형 Diaphragm Type

상기의 Flange Type의 실험 결과와 유사하며, 충전 콘크리트의 유무가 접합부의 거동에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

이것은 강관 내부의 Diaphragm이 좌우 보플랜지와 일체화되어 응력전달이 원활히 되었기 때문인 것으로 사료된다.

● Basic Type

강관벽의 국부변형이 초기에 발생하여서, 초기 강성이 낮게 나타났으며, 강관벽의 membrane효과에 의해서 내력이 증대하였으나, 중국에는 강관벽과 보플랜지와의 용접부가 파단하여 불안정하게 되었다.

● 관통철근 Type

관통철근 Type의 실험결과는 그림 3.6에 나타내었으며 그림에서 횡축은 표점거리 950mm간의 축변위이며, 종축은 하중을 나타내었다.

① RB13

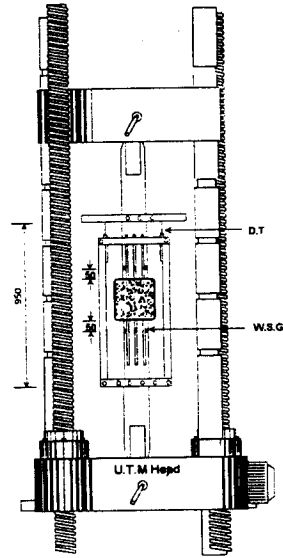


그림 3.3
가력 및 측정 방법

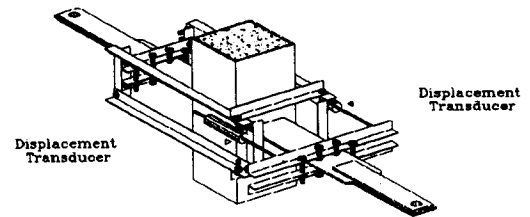


그림 3.4 변위 측정 장치

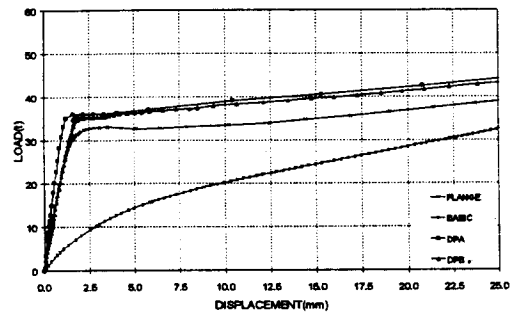


그림 3.5 비교대상 시험체의 하중-축변위 관계 곡선

약 18ton에서 철근이 항복하기 시작하였고, 철근의 항복으로 인하여 강관벽과 인장플랜지와의 용접부의 내력으로 저항하여 최대 내력에 도달하

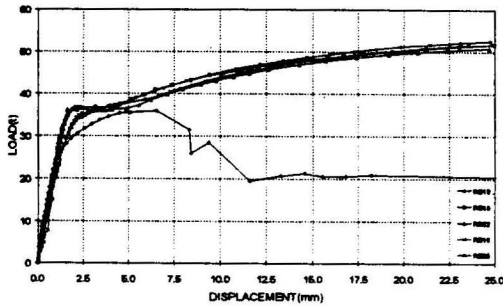


그림 3.6 관통철근 Type의 하중-속변위 관계 곡선

였는데, 마치 Basic Type의 거동과 유사함을 보인다. 이후에는 철근이 파단하였다. 이것은 철근 단면적이 인장플랜지 단면적의 31.68%로서 과부족임을 의미한다.

② RB16, RB19, RB22, RB25 Type

각 시험체의 접합부에서는 실험 종료시까지 내력 상 전혀 이상이 없는 것으로 나타났고, 인장플랜지의 인장력에 의해서 종곡내력이 결정되었다.

4. 분석 및 고찰

관통철근을 이용한 충전강관 보플랜지 접합부의 내력은 다음의 3가지 형식에 의해서 파괴되리라 예상된다.

- i) 강관벽과 보플랜지 사이의 접합부의 인장 파괴 (case1)
- ii) 인장플랜지와 철근과의 용접부 전단 파괴 (case2)
- iii) 보플랜지의 인장 파괴 (case3)

본 연구에서는 각 파괴모드의 항복시의 하중을 예측하는 방법을 제시하고, 실험 결과와 비교한다.

(1) case1 (PY)

관통철근이 없이 보플랜지가 직접 강관벽에 용접되어 붙어있는 경우의 항복내력(P_{y1})과 관통철근만이 있는 경우의 항복내력(P_{y2})을 단순누가하여 항복내력으로 추정한다.

관통철근이 없이 보플랜지가 직접 강관벽에 용접되어 붙어있는 경우의 항복 내력에 대한 예측식은 항복선 이론을 이용하여 T. R. Higgins¹⁾의 모델이 제안되어 있고, 그 후에 이를 수정한 G. Davis, J. A. Packer²⁾의 모델과 K. Morita³⁾의 모델 등이 있으나, 본 연구에서는 비교적 간단하고, 하한치를 주는 것으로 판단되는 T. R. Higgins의 모델을 이용하기로 한다.

T. R. Higgins의 역학모델에서 이용한 주요한 가정은 다음과 같다.

- i) 강관벽에는 그림 4.1에 나타낸 항복 mechanism 이 형성된다.
- 여기서, 항복선 AA, A'A'와 보플랜지 중심간의 거리(x)를 $x = 6tc$ 로 한다.
- ii) 보플랜지에는 등분포 응력이 작용한다.
- iii) 강관벽의 단위 길이당 항복 moment는 항복선 AA'에 대해서는 0으로, 다른 항복선에 대해서는

$$M_p = \frac{t_c^2 \cdot c_y^{\sigma}}{A} \text{로 한다.}$$

여기서, t_c 는 강관벽의 두께, c_y^{σ} 는 강관의 항복점이다.

이상의 가정에 의한 보플랜지의 항복내력 P_{y1} 의 평가식은 다음의 식과 같다.

$$P_{y1} = t_c \{B_c + 72t_c^2 / (B_c - B_b)\} \cdot c_y^{\sigma} / 6$$

여기서, B_b 는 보플랜지의 폭, B_c 는 강관의 폭이다.

또한, 관통형 철근만에 의한 항복내력의 평가식은 다음과 같다.

$$P_{y2} = n \cdot a_1 \cdot r_y^{\sigma}$$

여기서, n 은 관통철근의 본수, a_1 은 철근 한 본당 단면적, r_y^{σ} 는 철근의 항복강도이다.

이상의 식에 의해서 계산된 항복내력을 누가하여 case1의 항복내력 평가식으로 사용한다.

$$P_y = P_{y1} + P_{y2}$$

(2) case2 ($_{II}P_y$)

철근은 인장플랜지에 그림 4.2와 같이 용접되었

표 4.1 항복내력의 평가치와 실험치의 비교

(단위 : ton)

시험체	eP_y	iP_y	$II P_y$	$III P_y$	P_y / eP
RB13	33.5	32.6	167.3	33.6	0.98
RB16	37.0	40.9	206.6	33.6	0.91
RB19	35.0	67.6	244.8	33.6	0.96
RB22	36.0	70.3	280.7	33.6	0.93
RB25	36.0	75.4	316.6	33.6	0.93

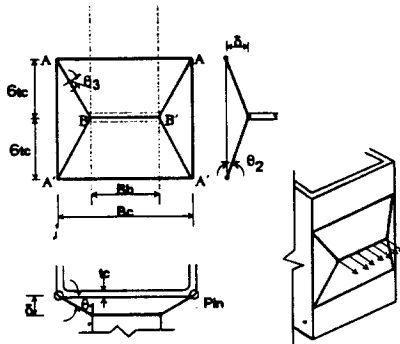


그림 4.1 강관벽의 항복 mechanism (T.R.Higgins)

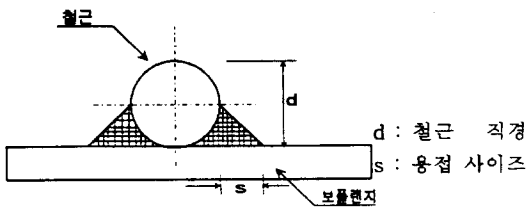


그림 4.2 플랜지와 철근의 용접형상

다고 한다 이 경우의 항복내력은 다음 식으로 평가한다.

$$II P_y = 2n \cdot a \cdot l \cdot w_y^{\sigma} / \sqrt{3}$$

여기서, n은 철근의 본수, a는 목두께(=0.7s), l은 유효용접길이, w_y^{σ} 는 용착금속의 항복강도이다.

(3) case3 ($III P_y$)

이 경우의 항복내력은 다음 식으로 평가한다.

$$III P_y = b_y^{\sigma} \cdot A_f$$

여기서, b_y^{σ} 는 보플랜지의 항복강도, A_f 는 플랜지의 단면적이다.

이상의 각각의 경우 항복내력의 평가치와 실험치의 비교를 표 4.1에 나타내었는데, 각 경우의 평가치 중 최소치를 항복내력의 평가치(밑줄친 값)로 하여, 실험치와의 비도 함께 나타내었다.

표 4.1에서 보는 바와 같이 상기의 항복내력의 평가 방법은 실험결과를 잘 설명해 주고있는 것으로 볼 수 있다.

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

5. 결 론

관통철근을 이용한 충전강관 기둥-보 접합부의 항복내력을 평가하는 방법으로, 3가지 형식의 파괴모드를 상정한 후, 각 경우 중에서 최소치가 되는것을것을 항복내력의 평가식으로 하여, 실험치와 비교한 결과, 좋은 대응을 보이고 있다.

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.

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

참 고 문 헌

- 1) O. W. Blodgett "DESIGN OF WELDED STRUCTURES" THE JAMES F. LINCOLN ARC WELDING FOUNDATION, JUNE, 1966, PP. 3. 6-6~9
- 2) G. DAVIS, 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) 최영환, 유영찬, 신경재, 오영석, 이승준, 문태섭 : “편심 축압력을 받는 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 거동에 관한 실험적 연구”, 대한 건축학회 논

문집, 제12권 제2호 통권 제88호, 1996년 2월

- 5) 강창훈, 유영찬, 신경재, 오영석, 이승준, 문태섭 : “중심 축압력을 받는 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 거동”, 대한 건축학회 논문집, 제12권 제8호 통권 제94호, 1996년 8월
- 6) 이상섭, 유영찬, 신경재, 오영석, 이승준, 문태섭 : “편심 축압력을 받는 고강도 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 거동에 관한 연구”, 대한 건축학회 논문집, 제12권 제9호 통권 제95호, 1996년 9월