

합성접합부에서 지압내력 평가식

Evaluation of Bearing Strength for Composite Joint

김 병 국* 최 완 철**
Byong-Kook Kim Oan-Chul Choi

ABSTRACT

Recent trends in the construction of building frame feature the increase use of composite steel concrete members functioning together in what terms of mixed structural systems. One of such systems, RCS(reinforced concrete column and steel beam) system is introduced and closely examined focusing on bearing strength of the composite joint in this paper. The main objective of this study was to develop one of details to increase bearing capacity while bearing failure is one of the two primary modes of failure in RCS system. Local bearing tests with specimens about 1/3 of the actual concrete column size were performed applying uniform load through steel plate with 100×110mm size. Test results show that specimens with the bearing reinforcement detail developed in this study enhanced the bearing strength by 1.71~3.02 compared to concrete cylinder strength.

1. 서론

현재 국내·외 건축물 구조시스템은 기존의 단일재료를 사용한 구조시스템을 벗어나 각각의 재료의 구조성능과 경제성 등의 장점을 최대한 살린 다양한 합성구조 시스템의 활용이 모색되고 있다. 그중 철근콘크리트 기둥과 철골보(RCS : Reinforced Concrete Column and Steel Beam)로 구성된 합성구조 시스템은 콘크리트 기둥의 높은 강성 및 경제성과 철골구조의 장스팬 및 자중절감 등의 장점 등으로 인하여 최근 미국과 일본을 중심으로 활발한 연구가 진행되어 왔으며, 국내에서도 시공사례가 증가되고 있는 추세이다.

보 관통형 철근콘크리트 기둥과 철골보(RCS) 접합부 파괴형태는 패널전단파괴(panel shear failure)와 지압파괴(bearing failure)가 지배적인 파괴형태로 나타나고 있으며, 두 파괴형태중의 하나가 접합부 강도를 결정하게 되며 특히 지압파괴가 중요한 파괴형태중의 하나로 나타났다(그림 1 참조).

* 정희원, 숭실대학교 대학원 박사과정

** 정희원, 숭실대학교 건축학부 교수

기존연구에서 편심하중에 의한 지압파괴양상이 중심축 하중으로부터 파괴양상과 상이하며 활용될 수 있는 설계식이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 띠철근 또는 이중 띠철근으로부터 지압내력을 추정할 수 있는 설계식을 제시하고자 한다.

2. 지압실험

본 연구에서는 합성 골조에서 지압파괴에 따른 접합부의 거동을 단순화하여 실험체 계획하였다. 시험체는 실험여건을 고려하여 실제크기의 1/3축척으로 제작하였으며 시험체 명과 실험결과는 표 1과 같다.

표 1. 시험체별 최대강도 및 강도비

Specimen Name	Detail of Reinforcement			Measured Test Result (unit: ton)		
	Tie	U-Bar	Double Tie	Initial Crack Load	Ultimate Load	f_m/f_{ck}
BS000①	-	-	-	45.8	64.0	1.73
BS000②				53.0	63.4	1.71
BS100①	D10@100	-	-	30.6	72.0	1.94
BS100②				52.3	70.5	1.90
BS070①	D10@70	-	-	24.0	61.5	1.66
BS070②				46.3	77.2	2.08
BS050①	D10@50	-	-	36.0	59.6	1.61
BS050②				30.0	83.0	2.24
BS040①	D10@40	-	-	31.0	81.0	2.19
BS040②				55.0	89.4	2.41
BS070-2D13①	D10@70	2-D13	-	32.0	84.4	2.00
BS070-2D13②				27.0	78.0	1.82
BS050-2D13①	D10@50	2-D13	-	41.0	76.2	1.77
BS050-2D13②				23.0	94.8	2.28
BS040-2D13①	D10@40	2-D13	-	39.0	85.7	2.03
BS040-2D13②				35.0	95.6	2.30
BS070D-2D13①	D10@70	2-D13	D10@70	35.0	93.1	2.23
BS070D-2D13②				30.0	92.2	2.21
BS050D-2D13①	D10@50	2-D13	D10@50	39.0	100.0	2.42
BS050D-2D13②				30.0	111.0	2.71
BS040D-2D13①	D10@40	2-D13	D10@40	46.0	122.3	3.02
BS040D-2D13②				22.0	115.1	2.82

본 실험의 시험체의 치수는 가로, 세로 25cm×25cm, 높이 40cm의 직육면체로 하였으며, 네 모서리에 주근 4-D16를 사용하였다. 띠철근과 이중띠철근으로 D10를 사용하였으며, U형 지압철근은 2-D13을 보 플랜지 아래에 위치하는 것으로 지압판 아래에 배근하였다. 지압판의 크기는 100(a)×110(c)mm로서 지압판 단부를 콘크리트면에 일치시켜 편심축력이 작용되어 지압파괴를 유도하도록 하였다(그림 2 참조).

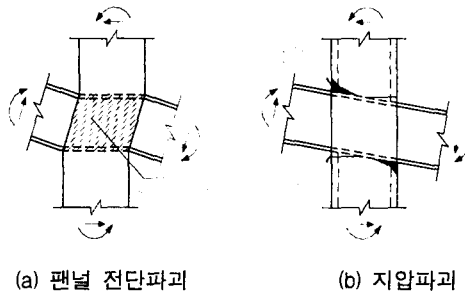


그림 1. 접합부 파괴 양상

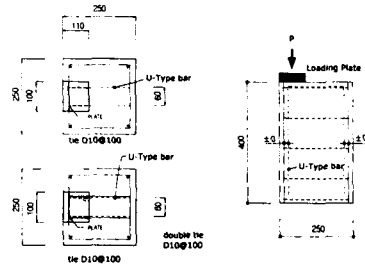


그림 2. 시험체 상세도 (단위 : mm)

3. 결과 분석

3.1 U형 지압보강근의 효과

RCS 접합부에서 철골보의 강체회전에 의해 발생하는 지압력에 대한 저항을 높이기 위하여 U형 지압보강근이 사용되었다. 본 지압실험에서 사용된 U형 지압보강근은 지압판 아래에 2-D13을 사용하였다. 시험체가 최대하중에 도달하였을 때 U형 지압철근이 항복된다고 보았을 때 증가분은 약 8.4 ton이 된다. 표 1에서 U형 지압보강근의 유무에 따른 두 그룹(BS***과 BS***-2D13)을 비교할 때 띠철근의 간격이 70mm, 50mm, 40mm 일 때 평균 69.3 ton, 71.3 ton, 85.2 ton과 81.2 ton, 85.5 ton, 90.7 ton으로 비교된다. 즉, U형 지압보강철근은 철근자체의 항복하중 이상의 내력을 발휘하고 있다. 이로서, U형 지압철근은 지압내력을 발휘함에 있어서 효과적이라고 할 수 있다.

3.2 띠철근과 이중띠철근에 의한 지압강도효과

지압강도에 대한 띠철근의 영향을 관찰하기 위하여 지압강도비(f_m/f_{ck})를 표 1에서 계산하였다. 띠철근이 배근된 시험체에서 지압강도비(f_m/f_{ck})가 1.71~3.02의 값을 보이고 있다. 단, U형 지압보강근이 포함된 시험체인 경우는 강도 증가분인 8.4ton을 일률적으로 빼고 계산하였다. 이결과는 ASCE Guideline 규정에서 최대지압강도(f_m)는 콘크리트강도(f_{ck})의 2배 규정을 충분히 만족하고 있다.

콘크리트 기둥을 횡구속 시키는 띠철근의 영향을 평가하기 위하여 수평철근비를 사용하며 ASCE 표준식과 Kanno의 제안식이 있다. ASCE 표준에서 수평철근비(P_{bh})는 띠철근이 지압력을 받는 전체 면을 구속하는 경우의 띠철근비로서 식(1)와 같다. 여기서, A_{bh} 는 지압면 띠철근의 단면적이며, s_b 는 띠철근 간격, h' 는 지압력을 받는 면의 띠철근 길이이다.

$$P_{bh} = \left(\frac{A'_{bh}}{s_b h'} \right) \times \frac{F_y}{f_{ck}} \quad \text{식(1)}$$

Kanno가 제안한 수평철근비(P'_{bh})는 지압판 아래 시험체 상부로부터 지압판 깊이(c)에 2배되는 파괴균열 범위내에 위치한 수평보강철근의 비를 나타내며 식(2)과 같다. 식(2)에서 A'_{bh} 는 시험체 상부로부터 $2c$ 의 파괴균열 범위내에 위치한 수평보강 철근의 총 단면적이며, a 와 c 는 각각 지압판의 폭, 지압판의 깊이이다.

$$P'_{bh} = \left(\frac{A'_{bh}}{ac} \right) \times \frac{F_y}{f_{ck}} \quad \text{식(2)}$$

위의 ASCE 규준식인 식(1)과 Kanno의 제안식 식(2)로 계산하면은 Kanno의 제안식이 수평철근비가 다소 높게 나타나고 있으나, 두식 모두 띠철근 간격이 긴밀할수록 수평철근비가 높게 나타났다.

그림 1과 그림 2는 수평철근비 P_{bh} , P'_{bh} 에 따른 지압강도비(f_m/f_{ck})의 영향을 나타내고 있다. 수평철근비의 증가에 따라 지압강도비는 증가하고 있다. 수평철근비가 약 0.15일 때 지압강도비는 2.0에 도달한다.

ASCE Guideline의 규정인 콘크리트 기둥 띠철근을 보하부(보폭길이내)에서 최소 3개 이상의 배근으로 할 때 수평철근비로 환산하면 약 0.09이며 지압강도비는 약 1.8이다. 즉, 기준에 의해 띠철근으로 배근한 경우 최대지압강도비인 2.0 기준에 다소 못미치는 경우로 나타나고 있다. 표 1과 그림 3과 그림 4에서 이중띠철근을 배근한 경우 지압강도가 크게 증가되고 있음이 보여지고 있다. 이중띠철근의 사용으로 수평철근비가 0.3일때 지압강도는 무려 3.0에 도달되고 있어 이중띠철근이 지압강도 증가에 매우 효과적임을 알 수 있다.

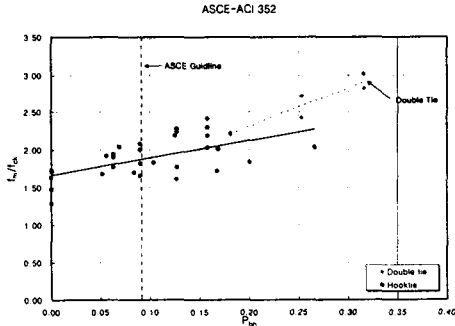


그림 3. 수평철근비에 따른 지압내력비 (ASCE Method)

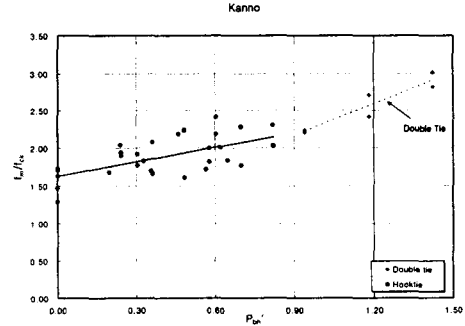


그림 4. 수평철근비에 따른 지압내력비 (Kanno Method)

3.3 지압강도 예측식

본 실험을 통해 나타난 자료를 기초로 하여 ASCE 제안식(1)과 Kanno 제안식(2)로부터 각각 변환시킨 최대지압강도 예측식은 식(3), 식(4)와 같다. 표 2에서 보듯이 식(3)의 평균값과 C.O.V 값이 식(4)

보다 작다. 따라서, 식(3)값이 더 잘 예측하다고 볼 수 있으며, 띠철근은 기둥에서 지압을 받더라도 큰 크리트 형구속시키는 역할을 한다고 판단된다.

지압강도 제안식(ASCE Method) :

$$f_m = 1.66f_{ck} + 2.28 \cdot \alpha \cdot \frac{A_{bh}}{S_b \cdot h'} \cdot F_y \quad \text{식(3)}$$

S_b : 띠철근간격, h' : 띠철근의 수평길이

지압강도 제안식(Kanno Method) :

$$f_m = 1.63f_{ck} + 0.63 \cdot \alpha \cdot \frac{A_{bh}'}{a \cdot c} \cdot F_y \quad \text{식(4)}$$

여기서, $\alpha = 1.0$ 띠철근인 경우, $\alpha = 1.2$ 이중 띠철근인 경우

표 2. 시험체별 실험강도/예상강도 비

Specimen Name	s_b (mm)	A_{bh} (mm ²)	A_{bh}' (mm ²)	Tie Steel Ratio (P_{bh})	Tie Steel Ratio (P_{bh}')	Prediction Strength by Eq.1 (kg/cm ²)	Prediction Strength by Eq.2 (kg/cm ²)	Bearing Strength (f_m) (kg/cm ²)	Test/Pred. Strength Ratio by Eq.3	Test/Pred. Strength Ratio by Eq.4
BS000①	0	0	0	0.000	0.000	560.7	621.8	581.2	1.04	0.93
BS000②								576.1	1.03	0.92
BS100①	100	142	284	0.063	0.242	609.2	637.5	653.6	1.07	1.02
BS100②								640.3	1.05	1.00
BS070①	70	142	426	0.090	0.362	630.0	645.3	558.8	0.89	0.86
BS070②								701.5	1.11	1.08
BS050①	50	142	568	0.127	0.483	657.8	659.3	541.4	0.82	0.82
BS050②								753.5	1.15	1.15
BS040①	40	142	710	0.158	0.604	682.0	661.1	736.2	1.08	1.11
BS040②								811.6	1.19	1.22
BS070-2D13①	70	142	680	0.090	0.578	630.0	659.5	671.9	1.07	1.01
BS070-2D13②								613.8	0.97	0.92
BS050-2D13①	50	142	822	0.127	0.699	657.8	667.4	597.5	0.91	0.89
BS050-2D13②								766.8	1.16	1.14
BS040-2D13①	40	142	964	0.158	0.820	682.0	675.2	684.2	1.00	1.01
BS040-2D13②								773.9	1.13	1.14
BS070D-2D13①	70	284	1106	0.181	0.941	727.1	683.2	750.5	1.03	1.09
BS070D-2D13②								743.9	1.02	1.08
BS050D-2D13①	50	284	1390	0.253	1.182	793.7	698.9	813.7	1.02	1.16
BS050D-2D13②								913.6	1.15	1.30
BS040D-2D13①	40	284	1674	0.316	1.424	851.9	714.7	1015.6	1.19	1.42
BS040D-2D13②								1001.3	1.11	1.32
								AVG:	1.05	1.07
								C.O.V:	0.34	0.74

4. 결론

이상의 연구에서 두 개의 지압강도식을 비교한 결과 큰 차이를 보이지는 않았지만 ASCE-ACI352 기준에 의한 제안식이 더 유용한 식으로 판단되며, 실험결과에 있어서 U형 지압보강근이 배근된 시험체가 지압 보강근이 없는 시험체보다 지압강도가 증가하는 것으로 나타났으나 강도비(f_m/f_{ck})로 산정해 보면은 비슷하거나 조금 상승하는 것으로 나타났다. 또한, 이중띠철근이 배근된 시험체가 띠철근이 배근된 시험체보다 지압강도와 강도비(31~70%)가 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 지압면 하부의 이중 띠철근의 횡구속 역할이 지압강도를 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 최대 지압강도는 이중띠철근 시험체에서 콘크리트 강도의 약 3배정도로 나타나는 것으로 보아 지압강도 향상을 위한 지압보강근의 상세개발과 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 조필규, 김상준, 허준, 최완철(1998), "철근콘크리트 기둥/철골보 합성구조의 접합부 성능," 대한건축학회, 학술발표 논문집, 18권, 1호, pp. 753~760.
2. 최완철(1997), "콘크리트 기둥/철골보 합성구조의 최근 연구", 대한 건축학회 학술발표 논문집, 17권, 2호, pp. 1207~1212.
3. 이원규, 조필규, 송진규, 김종락, 최완철(1999), "철근 콘크리트 기둥과 철골보 합성골조에서의 지압 강도", 대한 건축학회 학술발표 논문집, 19권, 제2호, pp. 325~335.
4. The 6th ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structure(2000), "Bearing Strength of Composite Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns," ASCCS, America.
5. ACI Committee 318(1995), "Building Code Requirement for Reinforced Concrete(ACI 318-95) and Commentary(ACI 318R-95)," ACI, Detroit.
6. AISC(1986), "Specifications for Load and Resistance Factor Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings," AISC, Chicago.
7. ACI-ASCE Committee 352(1985), "Recommendations for Design of Beam Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures," Report ACI 352R-85.
8. Darwin, D. et. al.,(1994), "Guidelines for Design of Joints Between Steel Beams and Reinforced Concrete Column," Journal of Struct Div., ASCE, 120(8), pp. 2330~2357.
9. Deierlein, G.G. (1988). "Design of Moment Connections for Composite Framed Structures," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, The Univ. of Texas at Austin.
10. Kanno, R. (1993), "Strength, Deformation, and Seismic Resistance of Joints Between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns," Ph.D. thesis, Cornell Univ.
11. Seikh, T.M. (1987). "Moment Connections Between Steel Beams and Concrete Columns," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, The Univ. of Texas at Austin.1995.