

접합부 상세에 따른 철골 커플링 보-벽체 접합부의 지압강도

Bearing Strength of Steel Coupling Beams-Wall Connections depending upon Joint Details

○ 박 완 신* 윤 현 도** 한 병 찬*** 황 선 경**** 양 일 승***** 김 선 우*****
Park, Wan-Shin Yun, Hyun-Do Han, Byung-Chan Hwang, Sun-Kyung, Yang, Il-Seong, Kim, Sun-Woo

Abstract

No specific guidelines are for computing the shear strength of steel coupling beam connections embedded in the reinforced concrete shear wall. In this paper, a theoretical study of the strength of hybrid coupled shear wall connections is achieved. The bearing stress at failure in the concrete below the steel coupling beam section is related to the concrete compressive strength and the ratio of the width of the steel coupling beam section to the thickness of the hybrid coupled shear wall. To revise factor affecting shear transfer strength across connections between coupled shear walls and steel coupling beam, experimental studies are achieved. The main test variables were auxiliary details of stud bolts. In this studies, these proposed equations are shown to be in good agreement with the test results reported in the paper and with other test data in the literature.

1. 서론

최근 구조형식을 조합하여 각각의 역학적 장점, 시공상의 이점을 활용하고자 하는 복합구조시스템(Composite and hybrid structures) 중, 전단벽을 연결하는 커플링 보를 우수한 변형능력을 갖는 철골보로 연결한 복합 병렬 전단벽시스템(Hybrid coupled shear wall system, 이하 HCWS)은 구조성능이 탁월하고, 평면의 자유로운 배치가 가능하며 경제적, 시공적 장점이 많을 뿐만 아니라 공장제작 등을 통한 숙련된 노동력의 수요를 줄일 수 있는 효율적인 구조시스템으로 인식되면서 재래식 독립전단벽 시스템이나 철골-코아구조 등을 대체할 것으로 기대되며 이에 따라 국내·외에서도 HCWS에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 복합 병렬 전단벽 시스템에서 철골 커플링 보가 철근콘크리트 벽체와 접합될 경우 응력 전달기구가 다소 복잡하므로 아직까지 커플링 보와 철근콘크리트 벽체 접합부의 거동에 대하여 규명되지 않아 이에 대한 설계기준이 정립되지 못한 실정이다. 한편, 국외의 Gong¹⁾ 및 국내의 연구자 등²⁾에 의해 커플링 보의 접합부 강도식에 대한 설계기준을 제정하기 위한 노력의 일환으로 PCI 규준식³⁾ 및 철골 브라켓, 프리캐스트 및 보-기둥 접합부 등 기존의 유사구조시스템의 접합부 모델⁴⁾을 이상화하여 병렬 전단벽의 접합부 강도식을 제안하였으나, 이 제안식은 매립된 철골 커플링 보 플랜지 상·하부 스테드 볼트 및 수평타이에 의한 접합부 강도의 기여도를 전혀 고려하지 못하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 지압파괴가 발생하는 경우, 접합부 상세에 따른 복합 병렬 전단벽의 접합부의 내력 평가식을 제안함으로써 병렬전단벽의 접합부 설계강도식을 제정하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 규준 및 기존 제안식

2.1 PCI 규준식 (그림 1a)

$$V_n = \frac{0.85f_c b_l b_e}{(3.67 + 4a/l_e)}, \quad (N) \quad \dots(1)$$

* 충남대학교 건축공학과 대학원 박사과정
** 충남대학교 건축공학과 교수, 공박
*** 충남대학교 건축공학과 강사, 공박
**** 우송대학교 강의전담교수, 공박
***** 충남대학교 건축공학과 연구원, 공박
***** 충남대학교 건축공학과 대학원 석사과정

2.2 Kriz & Rath 제안식⁵⁾

$$V_n = 5.7\sqrt{f_c}\beta_1 b l_e \left(\frac{t/2}{b}\right)^{0.33} \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e}\right), \quad (N) \quad \dots(2)$$

2.3 Williams 제안식⁶⁾

$$V_n = 5.7\sqrt{f_c}\beta_1 b l_e \left(\frac{t/2}{b}\right)^{0.47} \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e}\right), \quad (N) \quad \dots(3)$$

2.4 Marcakis 및 Mitchell 제안식⁷⁾(그림 1b)

$$V_n = 5.7\sqrt{f_c}\beta_1 b l_e \left(\frac{t/2}{b}\right)^{0.33} \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e}\right), \quad (N) \quad \dots(4)$$

2.5 Mattock 및 Gaafar 제안식⁸⁾(그림 1c)

$$V_n = \frac{1.75\sqrt{t/b}\sqrt{f_c} b l_e}{0.88 + a/l_e}, \quad (N) \quad \dots(5)$$

2.6 선행 연구

그림 2(d)는 벽체면에서 a만큼 떨어진 거리에 하중 V_n 이 작용하는 경우, 매립단면 상·하부에서 스테드 볼트 및 콘크리트의 응력분포를 이상화하여 나타낸 것이다. 선행 연구⁹⁾에서는 병렬 전단벽 접합부의 내력식을 이론적으로 유도하기 위하여 그림 2(d)에서 나타난 바와 같이 철골단면 하부의 포물선 압축응력 분포를 ACI 318-02 규준에서 제시한 등가의 직사각형 응력분포로 가정하였고 강재단면 상부에서는 Kent 등¹⁰⁾이 제안한 다음 식(6)와 같이 가정하였다.

$$f_c = 1,000 f_c [\epsilon - 250\epsilon^2], \quad (\text{MPa}) \quad \dots(6)$$

또한 단면 상·하부 압축 변형률을 선형분포로 가정하여 C_b 작용선에 대한 모멘트 평형조건을 적용한 후, c/l_e 를 0.66으로 가정하면 복합 병렬전단벽 접합부에 대한 전단력 V_n 은 다음 식 (7)과 같다.

$$V_{n(\text{theory})} = 0.85 f_{cb} \beta_1 b l_e \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e}\right), \quad (N) \quad \dots(7)$$

선행 연구결과에 의하면, 콘크리트의 지압강도는 콘크리트의 압축강도 f_c 보다는 콘크리트의 인장강도 f_t 에 비례하는 경향을 보이고 있으며 이를 고려하여 선행 연구에서는 스테드 볼트 및 수평타이가 없는 경우 접합부 강도에 대한 내력 평가식을 다음 식 8(a)와 같이 제안하였다.

$$V_n = f_b \cdot \beta_1 \cdot l_e \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e}\right), \quad (N) \quad \dots(8a)$$

$$f_b = 4.5\sqrt{f_c} (t/b)^{0.55}, \quad (\text{MPa}) \quad \dots(8b)$$

철근콘크리트 병렬 전단벽에 매립된 철골 커플링 보의 내진성능 개선하기 위하여 스테드 볼트의 추가 보강시 기존 설계식 및 제안식은 이러한 보강상세에 따른 내력의 증가를 고려하지 못하고 있으며 이를 고려해야 할 것으로 사료된다. 선행 연구결과에 의하면, 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 스테드 볼트로 보강한 SCB-SB시험체의 최대내력은 428.3kN으로 보강되지 않은 SCB-ST시험체에 비해 약 37% 내력이 크게 나타났다. 따라서 매립영역에서의 전단연결재는 주변 콘크리트에 플랜지의 지압력 전달을 향상시키고 접합부 강도 및 강성을 현저하게 증가시키는 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 그림 2(d)에 나타난 바와 같이 스테드 볼트를 고려한 접합부 상세를 이상화하여 정역학적인 평형조건식을 적용하면 스테드 볼트에 의한 전단내력의 기여도 V_s 는 다음 식 (9)와 같다.

$$V_s = \frac{2(0.88l_e - a) \sum_{i=1}^n A_s f_{si}}{(0.88l_e - a)} \quad \dots(9)$$

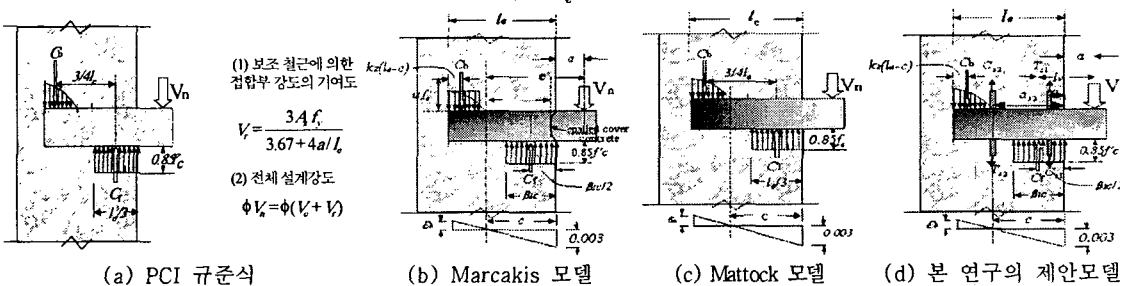


그림1. 매립영역에서의 응력 및 변형률 분포

그림 3은 SCB-SB 시험체에 대하여 플랜지 상·하부에 보강된 스티트 볼트의 변형률을 나타낸 것이다. 그림 8에 나타난 바와 같이 최종파괴시 SB#1, SB#2 및 SB#3 스티트 볼트의 변형률의 평균값은 각각 366, 496 및 903($\times 10^{-6}$)이며 식 (9)에 의한 스티트 볼트에 의한 전단내력의 기여분은 112kN으로 실험값(=115kN)에 거의 근접하는 것으로 나타났다.

3. 스티트 볼트 및 수평타이를 고려한 강도식 제안

선형 연구의 실험결과에 의하면, 매립영역의 철골보 상·하부의 수평타이는 그림 2(c)에서 나타난 바와 같이 주변콘크리트의 횡구속에 의해 철골보 상하부 콘크리트에서 지압응력의 증가로 그림 2(c)에 나타난 바와 같이 접합부 내력의 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 Clarke 등¹¹⁾의 프리캐스트 접합부에 대한 실험결과에서도 유사한 경향을 보이고 있었다. 그림 4는 SCB-SBVRT 시험체에 대하여 플랜지 상·하부에 보강된 수평타이의 변형률을 나타낸 것이다. 최종파괴시 HT#1 및 HT#2의 최대변형률은 각각 229 및 243($\times 10^{-6}$)이며 접합부 영역에서 균열발생 이후에 주변콘크리트를 효율적으로 구속하는 것으로 나타났다. 한편, 식 8(a)에 의한 예측값은 수평타이에 의한 기여도를 고려하지 못하고 있으므로 실험값을 지나치게 과소평가하는 경향을 보이고 있으며 이는 지압강도를 접합부 강도의 지배적인 영향인자인 콘크리트 지압강도를 낮게 평가하고 있기 때문으로 판단된다. 따라서, 접합부 영역의 철골보 상하부에 수평타이가 있는 경우 주변콘크리트의 구속에 의한 내력의 증가를 고려해야 할 것으로 사료된다. 그림 9는 기존 실험결과와 식 8(a)을 사용하여 계산된 f_d/f_c 값과 b/t 의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 f_d/f_c 는 보 폭/벽체 두께비에 현저한 영향을 받는 것으로 나타났으며, 접합부 매립영역을 수평타이에 의해 보강한 경우 구속효과에 의해 보 폭/벽체 두께비의 따라 지압강도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 수평타이에 의한 접합부 내력의 기여도를 고려하면, f_d/f_c 의 하한치는 다음과 같다.

$$f_d/f_c = 0.85(b/t)^{-0.60} \quad \dots(11)$$

전술한 연구결과를 토대로 본 연구에서는 매립영역의 철골보 상·하부에서 스티트 볼트 및 수평타이에 의해 접합부를 보강한 경우 추가보강에 의한 내력의 기여도를 고려하여 철골 커플링 보-벽체 접합부의 지압강도를 다음과 같이 제안하고자 한다.

$$V_{n(Proposed)} = f_b \cdot \beta_1 \cdot l_e \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e} \right) + \frac{2(0.88l_e - a) \sum_{i=1}^n A_{s_i} f_{s_i}}{(0.88l_e - a)}, (N) \quad \dots(12a)$$

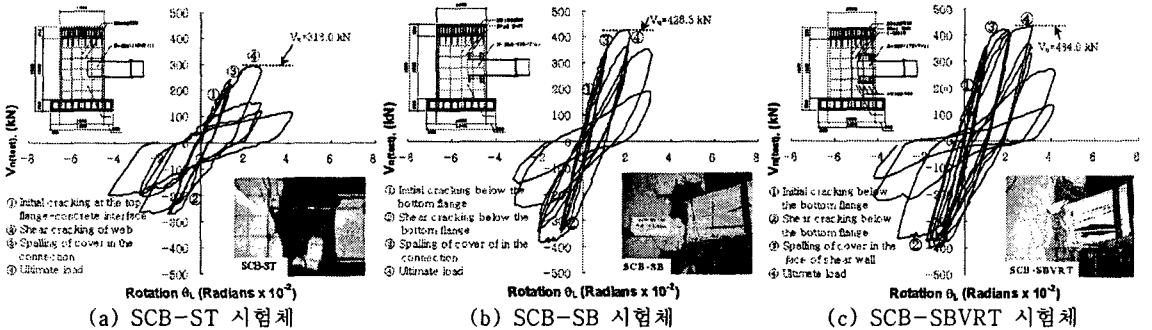


그림 2. 하중-변위관계 곡선

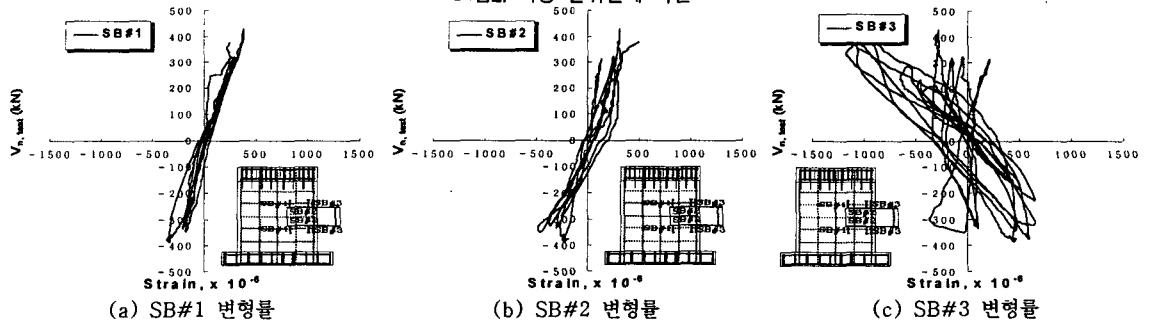
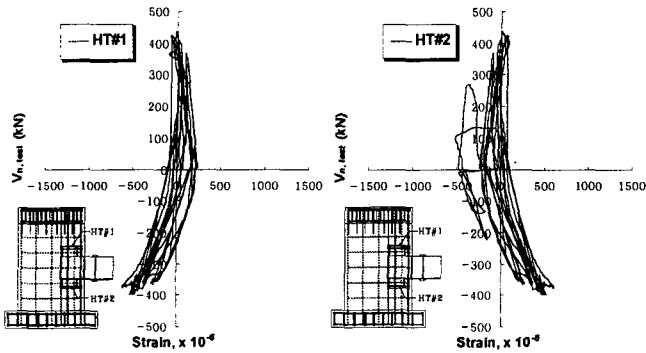


그림 3. 매립영역에서 스티트 볼트의 변형률 (SCB-SB 시험체)



(a) HT#1 변형률 (b) HT#2 변형률

그림4. 매립영역에서 수평타이의 변형률 (SCB-SBVRT 시험체)

접합부 매립영역에 수평타이가 없는 경우

$$f_b = 4.5\sqrt{f_c}(t/b)^{0.55}, \text{ (MPa)} \quad \dots(12b)$$

또한, 접합부 매립영역에 수평타이가 있는 경우

$$f_b = 4.5\sqrt{f_c}(t/b)^{0.60}, \text{ (MPa)} \quad \dots(12c)$$

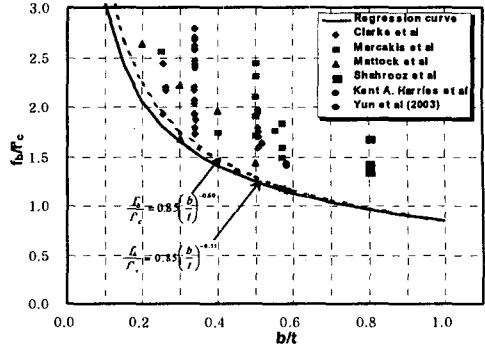


그림5. b/t에 따른 fb/fc의 변화

4. 결론

1. 철골 커플링 보-벽체 접합부 상세에 따른 기여도를 평가하기 위하여 본 연구에서 제안된 모델은 철골 커플링 보-벽체 접합부의 지압강도를 합리적으로 예측하는 것으로 나타났다.
2. PCI 규준식 및 기존 제안식에 의한 계산값은 스티드 볼트 및 수평타이의 의한 접합부 강도의 기여도를 전혀 고려하지 못하고 있으며 이에 대한 고려가 절실히 요망된다. 그러므로 본 연구에서는 복합병렬 전단벽의 접합부 영역에 스티드 볼트 및 수평타이로 보강한 경우 철골 커플링 보-벽체 접합부의 지압강도에 대한 평가식을 다음과 같이 제안하고자 한다.

$$V_{n(\text{proposed})} = 4.5\sqrt{f_c}\beta_1 b l_e \left(\frac{t}{b}\right)^{0.60} \left(\frac{0.58 - 0.22\beta_1}{0.88 + a/l_e}\right) + \frac{2(0.88l_e - a) \sum_{i=1}^n A_{si} f_{si}}{(0.88l_e - a)}, \quad (N)$$

또한, 상기 제안식은 본 연구에서 수행된 시험체의 경우 잘 일치하는 것으로 나타났으며 향후, 수많은 추가실험을 수행하여 제안식에 대한 보완 및 검증이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Gong B., Shahrooz B. M., Gillum A. J., "Cyclic Response of Composite Coupling Beams," ACI Committee 335 Special Publication, 1997.
2. 윤현도 등, "철근콘크리트 벽체에 매립된 철골 커플링 보 접합부의 전단강도" 대한건축학회 논문집(구조제), 제 20권 5호, 2004, pp. 43-50.
3. PCI Manual on Design of Connection for Precast Prestressed Concrete, Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1973, p. 25.
4. Hawkins, N. M., "The Bearing Strength of Concrete for Strip Loadings," Magazine of Concrete Research (London), V. 22, No. 71, June 1970, pp. 87-98
5. Kriz, L. B., and Raths, C. H., "Connections in Precast Concrete Structures - Bearing Strength of Column Heads," Journal, Prestressed Concrete Institute, V. 8, No. 6, Dec. 1963, pp. 45-75.
6. Williams A., "The Bearing Capacity of Concrete Loaded Over a Limited Area," Technical Report No. 526, Cement and Concrete Association, London, Aug. 1979, pp. 70-79.
7. Marcakis, Kostas, and Mitchell, Denis, "Precast Concrete Connections with Embedded Steel Members," Journal, Prestressed Concrete Institute, V. 25, No. 4, July-Aug. 1980, pp. 88-116.
8. Mattock, A. H. and Gaafar, G. H., "Strength of Embedded Steel Sections as Brackets," ACI Journal, V. 79-9, March-April, 1982, pp. 83-93.
9. 이원호 등, "철골 커플링 보의 파괴 및 변형특성" 대한건축학회 논문집(구조제), 제 19권 3호, 2003, pp. 75-82.
10. Kent D. C and Park R., "Flexural Members with Confined Concrete," Journal of Structural Division, ASCE, Vol.97, ST7, July 1971, pp. 1,969-1,990.
11. Clarke, J. L., and Symmons, R. M., "Tests on Embedded steel Billets for Precast Concrete Beam-Column Connections," Technical Report No. 42.523, Cement and Concrete Association, London, Aug. 1978, 12 pp.