

철골 플레이트 커플링보의 전단강도에 대한 기준식의 비교·분석

Comparison analyzation of Calculation Equations for Shear strength of Steel Plate Coupling Beam

이 경 훈* 송 한 범** 박 진 영*** 이 원 호**** 태 경 훈*****
Lee, Kyung-Hwon Song, Han-Beom Park, Jin-Young Yi, Waon Ho Tae, Kyung Hoon

ABSTRACT

Coupled shear wall system is the primary seismic load resisting system of buildings. The coupling beam of these buildings must exhibit excellent ductility and energy dissipation capacity. To achieve better ductility and energy dissipation, the steel coupling beam embedded in the reinforced concrete walls is proposed. Performance of the steel coupling beam is mainly effected by embedment length. ACI equation and BS equation were examined with 23 previous test results. The statistical study uses the values of mean value, standard deviation, correlation coefficient, normal distribution curve, and error analysis. Through the analytical program, the evaluation of the 2 equations was established.

요 약

병렬 전단벽구조의 이상적인 거동을 만족시키기 위한 대안의 하나로 철근콘크리트커플링보에 전단 성능이 우수한 철골 플레이트를 매립하는 방안이 제시되었다. Lam의 연구에 의하면 플레이트를 보강한 시험체가 기존의 철근 콘크리트 커플링보에 비하여 내진성능이 매우 우수한 것을 제시하고 있다.

철골 플레이트 커플링보는 철골 부재와 철근콘크리트 부재로 구성된 합성구조이다. 따라서 철골 부재는 강구조 설계 기준에 의해 설계하고, 철근콘크리트 부재는 철근콘크리트 설계기준에 의해 설계하여 중첩시키는 방법으로 설계한다. 그러나 아직까지 합성구조에 대한 설계기준이 마련되어 있지 않은 이유로 본연구에서는 실무에서 쓰이는 기준식의 평가를 통하여 철골 커플링보의 안전성을 검토하고자 한다. 기존 연구의 데이터를 통계학적 분석방법을 이용하여, ACI기준식과 BS 기준식을 각각 검증하였다. 분석 결과 철근콘크리트의 전단력과 철골플레이트의 전단력을 중첩하여 계산하는 철골 플레이트 커플링보에 대한 현재의 실무에서의 설계방법은 기존의 실험결과와 비교하면 적절한 설계방법으로 판단된다.

* 정회원, (주)아이스트, 공학석사
** 정회원, 광운대 에센스 구조연구센터 연구교수, 공학박사
*** 정회원, 광운대 대학원 석사과정
**** 정회원, 광운대 교수, 국립방재연구소 소장, 공학박사
***** 정회원, 광운대 대학원 박사과정

1. 서론

일정한 규칙을 갖고 설치된 개구부에 의하여 구획된 각각의 독립 벽체는 철근콘크리트커플링보에 의해 연결됨으로써 높은 횡 강성과 강도를 확보한 병렬 전단벽구조 방식이 된다. 이러한 병렬 전단벽 구조의 이상적인 거동을 만족시키기 위한 Paulay 등의 연구에 따르면 전단응력이 $0.5\sqrt{f_{ck}}$ MPa 이상 이고 경간-축비(Span-to-depth ratio)가 약 3이상인 경우, 커플링보는 주근 외에 대각선 보강근으로 추가 보강되어야 한다고 나타내고 있다. 그러나 이러한 배근상세는 시공상 어려움이 있으므로 현실적으로 이러한 배근상세를 대체할 수 있는 대안이 요구되고 있다.

이러한 대안의 하나로 철근콘크리트 커플링보에 전단성능이 우수한 철골 플레이트를 매립하는 방안이 제시되었다. Lam의 연구에 의하면 플레이트를 보강한 시험체가 기존의 철근 콘크리트 커플링보에 비하여 내진성능이 매우 우수한 것을 제시하고 있다.

그러나 철골 플레이트 커플링보와 같은 합성구조에 대한 설계 기준이 마련되어 있지 않은 이유로 철근콘크리트 설계기준과 강구조 설계기준을 혼용하여 실무에서 적용되고 있는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 이에 대한 평가를 통하여 실무에서 설계하는 철골커플링보의 안전성을 검토하고자 한다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 설계 기준식

철골 플레이트 커플링보는 철골 부재와 철근콘크리트 부재로 구성된 합성구조이다. 따라서 철골 부재는 강구조 설계 기준에 의해 설계하고, 철근콘크리트 부재는 철근콘크리트 설계기준에 의해 설계하여 중첩시키는 방법으로 설계하며 국내에서 많이 사용하는 기준식은 식 (1)~식 (7)과 같다.

1) ACI-318 (2005)

$$(V_n)_{comp} = (V_n)_s + (V_n)_{RC} \quad (\text{kN}) \quad (1) \quad (V_n)_s = 0.6F_{ys}A_{ws} \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

$$(V_n)_{RC} = A_v F_{yh} \left(\frac{d}{s}\right) + 0.17 \sqrt{f'_c} B d \quad (\text{kN}) \quad (3) \quad (\text{단, } A_v F_{yh} \left(\frac{d}{s}\right) \leq 0.67 \sqrt{f'_c} B d)$$

2) BS 8110 (1997)

$$V_u = V_p + V_v + V_c \quad (\text{kN}) \quad (4) \quad V_p = 0.54 f_{yp} t h_p \quad (5)$$

$$V_v = \frac{A_v f_{yv}}{b s_v} (b - t) d \quad (6)$$

$$V_c = 0.79 \left(\frac{100 A_s}{b d}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{f_{cu}}{25}\right)^{\frac{1}{3}} (b d) \quad (7) \quad (\text{단, } f_{cu} \leq 40 \text{ N/mm}^2)$$

2.2 검증방법

본 절에서는 기존 연구의 데이터를 통계학적 분석방법을 이용하여, ACI 기준식과 BS 기준식을 각각 검증하였다. 통계적인 분석을 위하여 이용된 자료는 기존 연구의 실험결과를 데이터베이스(23개) 하였으며, 데이터를 이용하여 통계학적 분석방법으로 평균값(mean value)과 표준편차(standard deviation), 상관계수(correlation coefficient), 정규분포곡선(normal distribution curve) 등을 이용하여 분석을 수행하였다.

2.3 기준식의 비교·분석

기준식의 타당성을 평가하기 위하여 식 (1) 및 식 (4)에 의한 이론값(V_u)과 실험값($V_{n(test)}$)에 대하여 통계적인 분석방법을 이용하여 비교·분석하여 그 결과를 표 1 및 그림 2~그림 3에 나타냈다.

표 2에서의 평균값은 제안식의 이론값에 대한 실험값의 비율의 평균, 표준편차 및 변동계수를 나타내고, 상관계수는 이론값에 대한 실험값의 상관계수를 나타낸다. 표 2에서 나타난 것처럼 이론값에 대한 실험값의 평균은 ACI는 0.98이고, BS는 1.05이다. 이에 대한 표준편차는 각각 0.19 및 0.22로 나타났다. 이러한 이론값과 실험값의 비에 대한 평균 및 표준편차에도 불구하고 각기준식에 대한 이론값과 실험값의 선형관계를 나타내는 상관계수(r)는 각각 0.75 및 0.73으로서 상대적으로 적은 값을 보이고 있다.

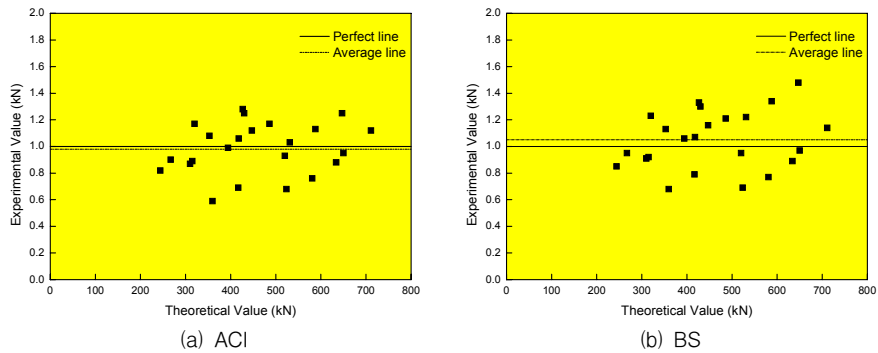


그림 1. 이론값과 실험값의 비교

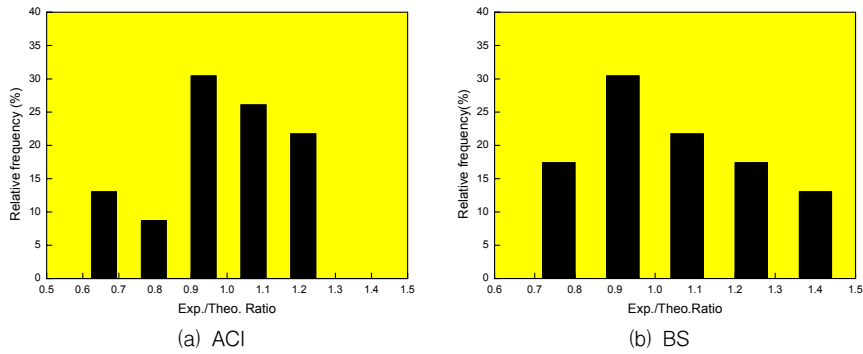


그림 2. 실험값/이론값의 비에 대한 히스토그램

표 1. 제안식의 통계적 분석결과 및 정규분포 곡선

제안식	평균 (X)	표준편차 (σ)	변동계수 $\frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100(\%)$	상관계수 (r)
ACI	0.98	0.19	19.74	0.75
BS	1.05	0.22	21.04	0.73

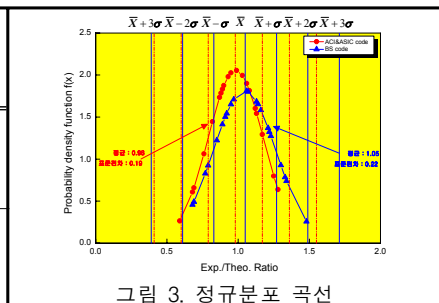


그림 3. 정규분포 곡선

이러한 통계적인 분석결과는 그림 1의 각 실험결과에 대한 실험값과 이론값의 분포와 그림 2의 이론값 대한 실험값 비율의 히스토그램을 통하여 비교할 수 있다. 그림 1에서 X축은 실험값을 나타내고 Y축은 이론값에 대한 실험값의 비율을 나타낸다. 또한, Y축에서 실선(Perfect line)은 이론값과 실험값이 일치한다는 것을 보여주고, 점선(Average line)은 표 1의 이론값에 대한 실험값의 비율의 평균을 나타낸다. 또한 실험값에서 이론값을 뺀 값인 오차를 비교해 보면 오차의 값이 양수이면 기준식에 의한 값보다 실험값이 작다는 것으로 “비안전측”을 나타내고, 음수이면 제안식에 의한 값보다 실험값이 작다는 것으로 “안전측”을 나타낸다. 안전측과 비안전측이 거의 동일하게 분포하는데 이는 철골 플레이트 커플링보의 전단내력에 있어서 철근콘크리트 보에 의한 전단강도의 불확실성 때문으로 판단된다.

표 1에 나타낸 제안식에 대한 통계적인 분석결과의 평균과 표준편차를 이용하여 데이터베이스화한 23개의 데이터에 대한 정규분포곡선을 그림 4에 나타내었다. 정규분포 곡선에서 그래프의 높이가 높고 폭이 좁을수록 확률적인 신뢰성이 우수하다는 특성이 있으며, 이론값에 대한 실험값의 비율의 평균이 1.0에 가까울수록 실험결과를 적절하게 예측한 것이다. 즉, 그림 3의 정규분포곡선의 비교를 통하여 두 기준식이 실험값과 유사하다는 것을 알 수 있고, 각 데이터의 평균(X)의 $\pm 2\sigma$ 의 구간에 실험값이 집중분포 되어있다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 ACI와 BS의 기준식은 실험결과를 적절하게 예상하고 있음을 보여준다.

이와 같은 기준식에 대한 검토결과에 의해 합성구조인 철골플레이트 커플링보의 내력은 현행 기준인 철근콘크리트 설계기준과 강구조 설계기준에 의해 계산한 값을 중첩하여 사용하는 방법은 적절한 것으로 평가된다.

3. 결론

본 연구에서는 전통적인 철근콘크리트커플링보를 철골 플레이트 커플링보로 대체하고자 할 경우에 기준이 정립되지 않은 합성구조에 대하여 기존 연구자들의 실험결과값과 실무에서의 설계기준으로 쓰이는 BS 기준 및 ACI 기준의 이론값을 비교하여 실무에서의 설계방법을 평가하고자 하고자 하며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 이론값에 대한 실험값의 평균은 ACI는 0.98이고, BS는 1.05이다. 이에 대한 표준편차는 각각 0.19 및 0.22로 나타났다.
- 2) 이러한 이론값과 실험값의 비에 대한 평균 및 표준편차에도 불구하고 각기준식에 대한 이론값과 실험값의 선형관계를 나타내는 상관계수(r)는 각각 0.75 및 0.73으로서 상대적으로 적은 값을 보이고 있다.
- 3) 철근콘크리트의 전단력과 철골 플레이트의 전단력을 중첩하여 계산하는 철골 플레이트 커플링보에 대한 현재의 실무에서의 설계방법은 기존의 실험결과와 비교하면 적절한 설계방법으로 판단된다.

참고 문헌

1. 송한범, 이원호 “병렬 전단벽 시스템에서 철골 커플링보 집합부의 거동, 보강상세 및 설계방법”, 대한건축학회논문집, 제21권, 제12호, 2005.12, pp.109~118
2. American Concrete Institute (ACI) Committee 318, 2002, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Farmington Hills, MI
3. AISC, 2001, Manual of Steel construction Second Edition, Load & Resistance Factor Design, Third Edition.