A-11

전단 연결재의 고온 성능 평가에 관한 연구

A Study on the Slip Test of Shear Connector in Fire

한 상 훈* · 박 원 섭** · 이 철 호***
Han, Sang Hoon Park, Won Sup Lee, Choul Ho

Abstract

Shear connector is the element which resist in the horizontal shear force between steel and concrete of composite members and the stud bolt is often used because of its constructional convenience and serviceability. Although the push-out test is the most common method to evaluate shear slip behaviour, it is suitable for only room temperature conditions. In this study, we investigated about shear force, temperature distribution and slip displacement of shear connector in high temperature through the modified push-out test with electronic furnace invented for steel part heating.

key words : Shear connector, Modified push-out test, High temperature

1. 서 론

강재보와 콘크리트 슬래브로 구성된 합성보의 휨성능과 합성능력에 관한 연구는 많은 실험과 해석을 통하여 강도 및 설계식이 제안되어 있다. 전단 연결재는 합성단면의 수평전단력에 저항하는 요소로, 시공의 편리성과 내력의 확실성 때문에 여러 종류의 커넥터 중에서 스터드볼트가 주로 사용되고 있으며, 전단 연결재의 성능 평가법에는 일반적으로 푸시아웃 실험이 있다. 그러나 화재시 합성력 또는 연결재의 거동에 관한 연구는 충분하지 못한 실정이며, 내화피복의 설계도 사양적 방법을 따르고 있다. 본 연구는 전단연결재의 고온시 거동을 평가하여 향후 구조부재의 화재거동에 미치는 영향의 검토를 목적으로 하였다. 전단연결재의 고온 거동에 관한 기초실험 수행을 위하여 강재부분을 가열하는 로를 고안하고, 변형된 푸시아웃 실험을 통하여 전단연결재의 온도분포와 슬립거동을 구하고, 전단내력을 고찰하였다.

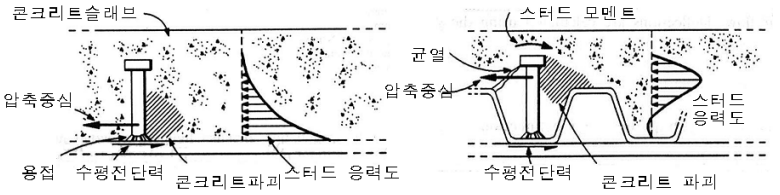
2. 전단연결재의 설계

합성구조는 강재와 콘크리트의 부착력에 의하여 좌우되는데 통상 강재와 콘크리트사이의 수평전단력은 전단 연결재에 의하여 저항된다. 전단 연결재는 수평전단력을 저항함으로써 강재와 콘크리트와의 부착력을 증진시키는 역할을 하는 요소이며 전형적인 전단 연결재는 스터드(stud)가 있다. 그 외에도 나선형 철근, L형강 등이 사용되고 있다. 전단 연결재는 강재보(H형강)의 상부 플랜지에 일정간격으로 용접되고 타설된 콘크리트 속에 정착되어 강재보의 상부 플랜지와 콘크리트를 일체화시키는 역할을 하고 있다. 특히 노출형 합성보는 전단 연결재에 의하여 강재보와 콘크리트가 합성단면이 되어 단일부재로 거동하게 되므로 전단연결부 및 합성율은 합성구조에서 매우 중요한 설계 요소이고 전체 구조부재의 거동을 좌우한다고 할 수 있다.

슬래브는 데크플레이트 적용 시 평데크와 골데크로 구분되며 각 슬래브의 형상 차이에 따라 그림 1과 같이 구분된다. 그림 (a)의 평슬래브인 경우가 그림 (b)의 골데크에 비해(강재보와 데크플레이트 리브가 직각인 경

* 정회원, 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터 연구원, 공학박사(hans@kict.re.kr)
** 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터 연구원, 공학석사(wspark@kict.re.kr)
*** 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터 연구원, 공학석사(chlee@kict.re.kr)

우) 수평전단내력이 크다는 것을 개념적으로 보여주고 있다. 그러므로 스터드커넥터 내력은 스터드 주변의 콘크리트 구속 상황에 따라 다르며, 스터드커넥터의 내력은 데크플레이트의 형상에 따라 감소계수를 적용한다.



(a) 평슬래브인 경우 (b) 강재보와 데크플레이트 리브가 직각인 경우

그림 1. 슬래브 형상에 따른 스터드커넥터의 내력 영향

현재 국내 강구조 설계기준은 한계상태설계로 적용하고 있으며, 이를 적용한 설계식은 다음과 같다.

$$V_{sn} = 0.5\, R_q\, A_{sc} \sqrt{f_{ck} \cdot E_c} \leqq A_{sc}\, F_u \qquad (1)$$

여기서, A_{sc} : 스터드커넥터의 축단면적(㎟)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도(N/㎟), E_c : 콘크리트의 탄성계수(N/㎟)

F_u : 스터드커넥터의 인장강도(N/㎟), R_q : 감소계수

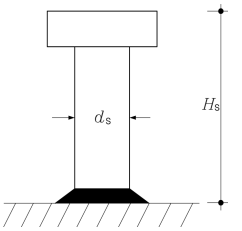
식 1에 의한 스터드커넥터의 공칭강도(V_{sn})는 감소계수(R_q)가 1인 경우 표 1과 같으며, 스터드 커넥터의 감소계수는 표 2와 같다. 표의 각 기호는 그림 2와 같다.

표 1. 스터드커넥터의 공칭강도(V_{sn}) (R_q 가 1인 경우) **단위 : kN**

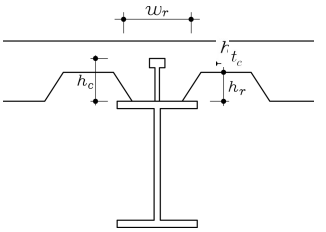
스터드커넥터 종류		콘크리트 설계기준강도 f_{ck} (N/mm^2)			
지름(mm)	높이 H_s (mm)	17.7	20.6	23.5	26.5 이상
φ 13	≥ 52	39.2	43.9	48.6	53.1
φ 16	≥ 64	59.4	66.6	73.5	80.4
φ 19	≥ 76	83.8	93.9	104	114
φ 22	≥ 88	112	125	139	152

표 2. 스터드커넥터의 감소계수

분 류	감소 계수
일정한 두께의 철근콘크리트 평슬래브	$R_q = 1.0$
데크플레이트 골방향이 강재보와 직교	$R_q = \frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \cdot \frac{w_r}{h_r} \left(\frac{H_c}{h_r} - 1.0 \right) \leqq 1.0$
데크플레이트 골방향이 강재보와 평행	$R_q = 0.6 \frac{w_r}{h_r} \left(\frac{H_c}{h_r} - 1.0 \right) \leqq 1.0$
여기서, w_r : 데크플레이트 골의 평균폭 h_r : 데크플레이트 골의 춤 H_c : 스터드커넥터의 높이, 단, $H_c \leqq (h_r + 75)$ (mm) N_r : 데크플레이트 골 당 스터드커넥터의 개수($N_r \leq 3$)	



(a) 스터드커넥터 형상



(b) 합성보의 단면과 기호

그림 2. 스터드커넥터와 합성보 기호

스터드커넥터의 소요갯수는 다음 식 2와 같다.

$$n = V_s / V_{sn} \qquad (2)$$

여기서, V_s 는 수평전단력으로, 완전합성보의 최대정모멘트 위치에서는 $0.85 f_{ck} A_c$ 와 $F_y A_s$ 중 작은 값으로 한다. A_c 는 콘크리트의 면적(슬래브 유효폭(b_e)과 유효두께(t_c)의 곱)이고 A_s 는 강재의 면적이다.

3. 전단연결부의 성능 실험

전단연결부의 성능평가 방법은 보 휨실험과 푸시아웃(Push out) 실험으로 구분되며, 푸시아웃 실험이 실험의 편이성 등이 우수하여 일반적으로 적용된다. 지금까지 많은 실험과 해석적 연구를 통하여 전단연결부의 강도는 커넥터와 콘크리트 및 데크의 형상과 물성치에 의존하는 것으로 알려져 있으며, 감소계수를 고려하여 설계에 적용되고 있다. 본 연구에서는 전단연결재의 고온 성능평가를 위하여 변형된 푸시아웃 방법을 고안하여 기초실험을 수행하였다.

3.1 Push out 실험

푸시 아웃 실험은 그림 3과 같이 H형강 보 양쪽에 슬래브가 형성되어 있는 모양이다. 그러므로 푸시 아웃실험은 중앙부의 H형강을 만능시험기 등을 이용하여 단조가력하며, 이때의 내력을 전단연결재 수량으로 나누어 전단연결재의 내력을 산정한다. 푸시 아웃 실험의 실험체 형상은 리하이(Lehigh) 대학(Ivan M. Viest, 1997)과 영국 기준(BS CP 117, Part 1) 등을 기준으로 한다. 실험 중 가력시 변형과 벌어짐의 정도는 변위계를 설치하여 측정한다.

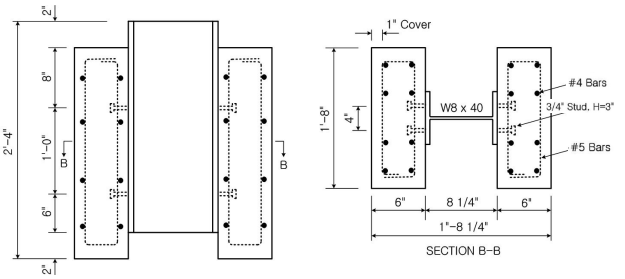


그림 3. Push out 실험체 예

3.2 고온조건 실험

본 실험은 하중 재하 및 고온가열 조건에서 합성구조 전단 연결재의 성능과 파괴모드를 구하기 위한 것으로, 시험방법 및 장치를 수정, 고안하여 수행하였다. 하중은 슬립시험체의 상부(강재돌출부)에 재하시키고, 고온가열은 스터드가 부착된 부위에 국부적으로 가하였다. 전기로의 가열공간에는 슬립시험체(푸시아웃 실험체의 절반정도에 해당)의 강재부분이 삽입되고 콘크리트용 구조재는 외기와 접해있으면서 가열공간을 밀폐시키는 구조로 되어있다.(그림 4 참조)

전단연결재의 고온특성 평가를 위한 실험 변수는 구조체의 온도특성 평가를 위해 콘크리트의 강도와 가열온도, 강재의 종류, 온도 등으로 구분되었다. 일반적으로 슬래브에 적용되는 콘크리트 압축강도는 21~27MPa이나, 본 연구에서는 콘크리트 압축강도의 영향을 평가하기 위해 시험체 제작은 24, 40MPa로 하였다.

실험을 통하여 상온과 고온(표준화재곡선 온도)에서 무피복된 H형강(SS400)에 열결된 스터드볼트의 거동특성을 검토하였다. 시험체 제작은 그림 5의 도면과 같이 ϕ19의 스터드 볼트를 사용하고 '●'표의 위치에 열전대를 설치하였다. 화재실험은 1시간 가열후 즉시가력(액추에이터, 1000kN)하였다. 슬립변위의 측정은 2개의 변위계(LVDT, 50mm)를 이용하였고 하중, 온도값과 함께 기록(TDS303)하였다. 가열 슬립실험장면은 그림 6에, 상온 및 고온 슬립변위는 각각 그림 7, 8에 나타내었다. 고온시(1시간 가열후)의 전단 강도는 상온과 비교하여 약 30%로 감소하였고, 항복 및 파단시의 슬립변위는 약 1~2mm 증가하였다.

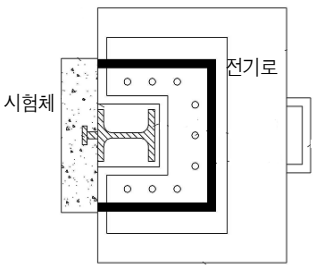
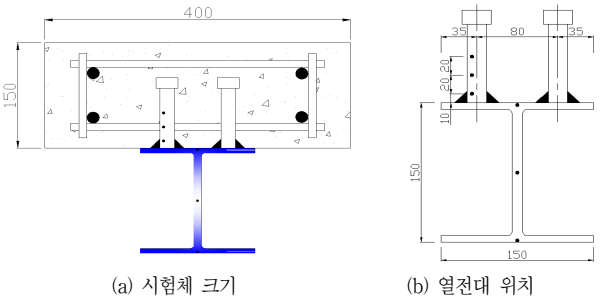


그림 4. 슬립시험체와 가열로(단면)



(a) 시험체 크기 (b) 열전대 위치

그림 5. 슬립테스트용 시험체

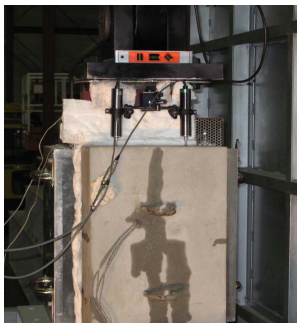


그림 6. 고온 슬립테스트 장면

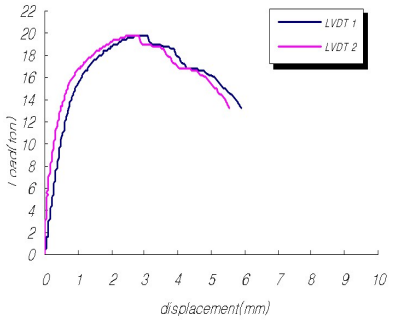
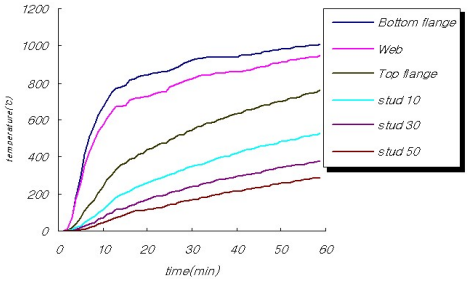
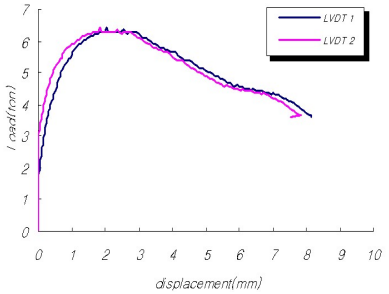


그림 7. 상온 슬립변위



(a) 시험체의 온도변화



(b) 고온 슬립변위

그림 8. 슬립테스트 각부 온도와 변위

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서 합성보에 사용되는 전단연결재의 화재시 거동특성을 푸시아웃 실험의 수정된 방법으로 구하였다. 표준화재 가열과 변위증분 가력을 통하여 단면의 온도분포와 슬립변위를 분석하여 얻은 결론과 추후과제는 다음과 같다.

1) 고온시 접합면의 전단저항력 저하는 강재(상부플랜지)의 온도와 잔존강도에 크게 영향을 받으며, 스터드 용접의 품질이 한계상태 거동에 영향을 미칠것으로 판단된다.

2) 전단연결부의 강도는 단면의 온도분포를 분석할 때, 콘크리트 보다 강재의 잔존강도에 지배 되며, 이는 내화피복의 수준과 화재시간에 따라 예측할 수 있을 것이다.

3) 향후 추가적인 실험을 통하여 전단연결재의 성능이 화재시 합성부재의 휨강도에 미치는 영향을 정량적으로 파악하는 것이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의2008년도 기본사업으로 수행중인 과제의 연구결과 중 일부입니다

참 고 문 헌

한국강구조학회, “KBC 2005 강구조설계”, 구미서관, 2006.

Association of Specialist Fire Protection Contractors and Manufacturers Lomited, (1992) Fire protection for structural steel in buildings, 2nd ed.

Deric J. Oehlers, Mark A. Bradford, (1999), Elementary Behaviour of Composite Steel and Concrete Structural Members, Butterworth-Heinemann

D. L. Mullett, (1998), Composite Floor Systems, Blackwell Science