

SC 벽체의 면외 전단강도 특성

Out-of-Plane Shear Strength Models of SC Wall

홍성걸* 이경진** 박동수*** 김원기**** 이동훈*****

Hong, Sung Gul Lee, Kyuong Jin Park, Dong Soo Kim, Won Ki Lee, Dong Hun

ABSTRACT

This paper presents out-of-plane shear strength models for composite wall with steel plates based on limit theorem in the framework of the plasticity theory. The formulas proposed by JEAG 4618 need to be reconsidered with a couple of limitations; ignoring the effect of bond stress generated by studs in the process of calculating arch action, illogically discriminating between concrete shear cracking strength and arch strength by algebraic relation in short shear span ratio(0-2.0). In most cases, reinforcement ratio is not sufficient to yield, as a result, arch strength is determined by accounting equilibrium including both bond strength and concrete compressive strength. We conducted experimental research assuming that SC wall is a continuous beam under the simplified loading patterns, changing main valuables involving the number of studs, stirrups. The results show good agreements with the formula and we quoted the test results of JEAG.

요 약

SC벽체는 뛰어난 후좌굴성의 특성을 지니고 있고 연성능력이 뛰어나 원자력 건물과 같은 주요 건물에 주로 사용되고 있고 최근 국내 실정에 맞는 강도식 산정을 연구 중에 있다. 최근 일본학회(JEAG)에서 제안한 면외 전단강도식은 전단스팬비에 의한 아치강도를 지나치게 단순화한 경향이 있고, 짧은 전단스팬비에서 아치강도와 전단균열강도를 분리하여 대소관계로써 결정하고 있어 강도식을 재정립할 필요가 있다. 아치작용의 본질은 전단을 지점으로 직접 전달하는 것이고, 아치단부가 최대로 압축받지 않는 경우가 많으므로, 스티드에 의한 콘크리트와 강판의 부착강도와 평형관계를 통해 아치강도를 결정한다. 실험체 제작은 일본학회에서 실험한 내용과 같이, 원자력 벽체에 가해지는 하중형태를 단순화하고 벽체를 연속보의 형태로 가정, 전단스팬비를 변경하면서 면외 전단실험을 진행한 후 강도식과 검증을 실시하였다. 전단스팬비 이외에도 스티드의 밀집도, 스티럽에 의한 전단보강 정도를 변수로 하여 실험결과를 비교 검증하였다. 예상식과 실험결과는 일본의 기존 강도식에 비해 비교적 접근하는 결과를 얻을 수 있었다.

* 정회원, 서울대학교 건축학과 교수

** 정회원, 전력연구원, KEPRI 선임연구원

*** 정회원, 전력연구원, KEPRI 선임연구원

**** 정회원, 호서대학교 건축공학과 교수

***** 정회원, 서울대학교 건축학과 연구원

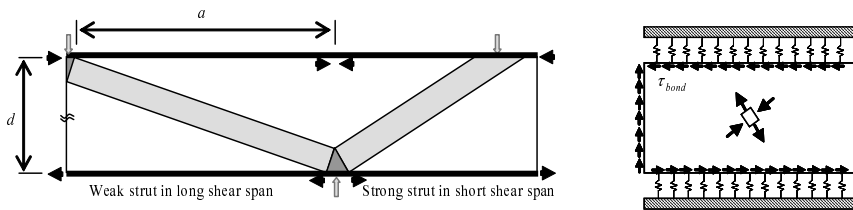
1. 연구의 배경과 가정

SC벽체의 면외 전단력의 전달은 크게 콘크리트 균열강도와 아치작용, 그리고 스티럽 작용으로 인한 것으로 구분한다. 콘크리트 균열강도는 콘크리트강도와 전단면적으로 결정된다. 콘크리트의 아치작용은 강판과 콘크리트가 스티드 등의 긴결부재로 부착하여 발생하는 접착강도와 평형을 이루면서 콘크리트 내에 직접적으로 전단 전달을 한다. 특히, 아치작용은 전단스팬의 길이가 길어짐에 따라 스트럿(strut)의 각도가 줄어들어 전단내력은 감소하게 된다. 전단보강이 없는 경우 콘크리트는 압축 스트럿에 의한 아치작용으로 전달하다가 스트럿 내의 콘크리트 유효압축강도에 도달하면 파괴에 이르게 된다. 반면 전단보강이 된 경우는 전단외력이 점점 증가함에 따라 전단보강근에 의한 트러스작용으로 스트럿 밖의 영역으로 전단력 전달 매커니즘이 전이하고, 최종적으로 트러스작용에 의해 전단강도가 결정된다.

표 1 plasticity 이론을 근거로 한 전단강도 모델

	w/o Stirrup		w/ Stirrup		
	Arch	Arch + Truss	Truss	Longitudinal Steel	Distributed load
Shear Transferring Model					
τ / f_c	$\frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2} - \frac{a}{h} \right] \left(\frac{V}{h} - \frac{1}{2} \right)$ $\frac{1}{2} \left[\sqrt{4\Phi(1-\Phi) + \left(\frac{a}{h} \right)^2} - \frac{a}{h} \right] \left(\frac{V}{h} < \frac{1}{2} \right)$	$\frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2} - \frac{a}{h} \right] + \psi \frac{a}{h}$	$\sqrt{\psi(1-\psi)} \leq \frac{1}{2}$ $\left(\psi - \frac{A_s f_s}{c b f_s} \right)$	$\psi \left[\sqrt{\frac{2\Phi}{\psi} + \left(\frac{a}{h} \right)^2} - \frac{a}{h} \right]$ $\left(\Phi - \frac{A_s f_s}{b h f_s} \right)$	$\frac{1}{21 + (a/h)} \left[\frac{1-2\psi}{1 + 4 \left(\frac{a}{h} \right)^2 \psi(1-\psi)} \right]$
Yield Condition	- Crushing	- Strut Crushing - Stirrup Yielding	- Stirrup Yielding	- Longitudinal Steel - Stirrup Yielding	- Stirrup Yielding
Effect of Bond	- None Applicable	- Change of Width of Strut - Activation of Truss	- Activation of Truss	- None Applicable	- Truss action

2. 전단보강이 없는 콘크리트의 공칭전단 강도



(a) 전단스팬비(a/d)에 따른 아치작용 구분

(b) 부착강도

그림 1 스티럽이 없는 경우의 전단강도 모델

전단보강이 없는 경우의 전단강도는 전단스팬 내에서 발생하는 스트럿과 그리고 콘크리트와 강판의 부착강도의 평형관계로 형성된다. 아치작용에 의한 전단강도를 결정하는 중요한 요소는 전단스팬비와 스티드와 같은 긴결부재로부터 발생하는 부착강도이다. 아치작용의 본질은 실험체에 작용하는 전단력과 지점반력이 서로 직접적으로 전달하는 데 있다. 그림 1(a)에서와 같이,

전단스팬비(a/d)가 긴 경우(좌)와 짧은 경우(우)의 상대적인 하중조건에서 아치작용은 노드의 각 면에 직각방향으로 생성되므로 비교적 짧은 전단스팬비(약 1~2.8)에서 강도를 결정한다. 이는 직접적인 힘의 전달이라는 점에서 더욱 직관적이며, 비교적 긴 전단스팬비(약 5.2)에서는 실험체가 휨에 의해 지배를 받으므로 강판 항복이 발생하는 양상을 보인다. 아치작용에 영향을 주는 또 하나의 중요한 요소는 콘크리트와 강판의 부착강도이다. 대부분의 전단실험에서는 강판의 인장으로 항복하는 경우는 드물며, 콘크리트 스트럿의 압축부재와의 평형관계라는 점에서 강판의 인장내력은 스티드의 공칭전단강도를 통해 추정함이 타당하다. 스티드에 의한 공칭전단강도는 식 (1)와 같고, 따라서, 아치작용에 의한 전단강도는 식 (2)와 같다.

$$V_{stud} = K_{ch} A_{sh} f_u (f_{ck} / f_u)^{0.35} (E_c / E_s)^{0.40} \quad (1)$$

$$V_{arch} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{4\Phi(1-\Phi) + \lambda^2} - \lambda \right] v_2 f_{ck} bd \quad (2)$$

콘크리트의 전단균열강도는 콘크리트 압축강도와 전단면적의 크기로 결정되고 식(3)와 같다.

$$V_c = 0.16 \sqrt{f_{ck}} bd \quad (3)$$

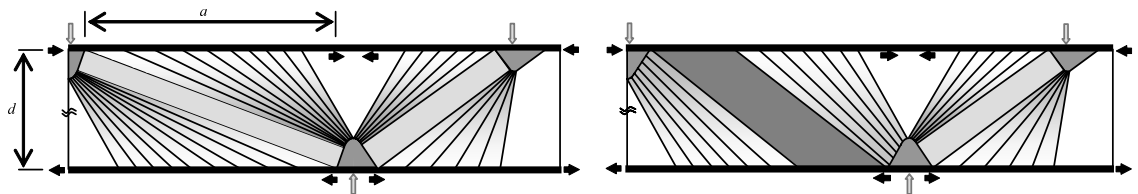
전단보강이 없는 SC 부재의 공칭전단 강도는 식 (4)와 같이 정의한다.

$$V_n = V_c + V_{arch} \quad \text{or} \quad V_n = 0.16 \sqrt{f_{ck}} bd + \frac{1}{2} \left[\sqrt{4\Phi(1-\Phi) + \lambda^2} - \lambda \right] v_2 f_{ck} bd \quad (4)$$

3. 전단보강이 있는 콘크리트의 공칭전단 강도

전단보강, 즉 스트럿이 존재하는 구간에서는 콘크리트의 아치작용과 더불어, 스트럿에 의한 팬(fan)을 형성되고, 각각의 팬은 전체 구조체를 일종의 트러스 형태의 구조물로 바꾸어 해석하게 한다. 그림 2는 아치작용에 의한 스트럿과 스트럿에 의한 팬이 형성된 모습이며, 특히 (b)는 전단스팬비가 길어질 경우 스트럿이 소멸되고 diagonal compression field가 형성되는 모델이다. 스트럿에 의한 전단강도식은 식 (5)와 같이 정의한다.

$$V_s = p_w f_y bd \quad (5)$$



(a) 아치작용과 팬(fan)

(b) diagonal compression field와 팬(fan)

그림 2 스트럿이 있는 경우의 전단력 전달 매커니즘

전단보강이 된 콘크리트의 공칭전단 강도는 스트럿이 유무한 경우의 전단내력을 합한 식 (6)과 같다.

$$V_n = V_c + V_{arch} + V_s \quad (6)$$

4. 실험결과 분석 및 결론

실험체 상세는 그림 3과 같이, 콘크리트 상하 단에 스티드를 이용해서 강판을 설치하고 그 안쪽에 H형강의 리브를 덧대어 휨보강 하였으며, 전단보강을 위해 쉬어바를 콘크리트 내부에 2열로 배근하였다. 하중조건을 조절하여 전단강도의 주요변수인 전단스팬비를 변화시키고, 휨내력을 크게

하여 설계하여 최대전단이 발생하는 구간에서 전단파괴를 유도하였다.

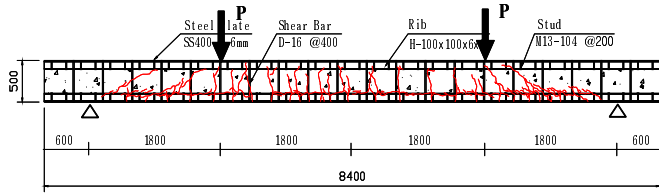


그림 3 실험체 상세

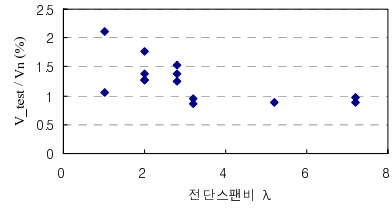


그림 4 실험결과 비교

전단스팬비에 따른 실험결과는 예상강도보다 대체로 안정측에 포함되었고, 아치작용에 의한 전단 강도의 변화가 적절히 반영되었음을 알 수 있다. 부재 크기, 스테드의 밀집도, 전단보강근에 따른 실험결과는 각각 그림5 (a),(b),(c)와 같다. 이는 예상강도식의 주요변수들이며, 반영률이 클수록 강도에 대한 기여도가 높음을 실험결과를 통해 알 수 있다.

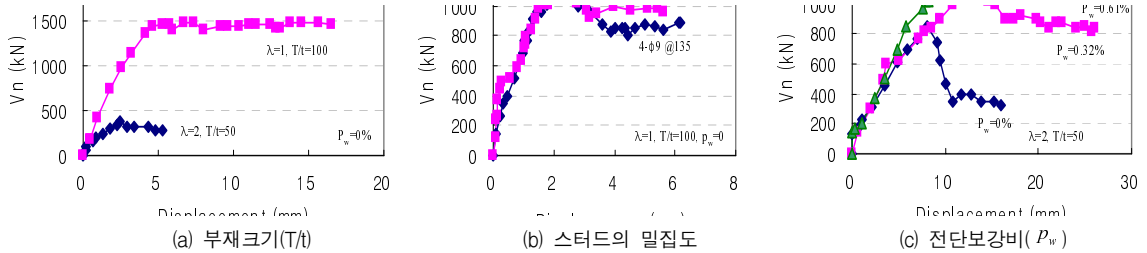


그림 5 전단강도 변수에 따른 실험결과 비교

기호

K_{sh} : 스테드 갯수 영향계수
 f_u : 스테드최대인장강도 (MPa)
 λ : 전단스팬비 (a/d)
 b : 부재폭 (mm)
 p_w : 전단보강비

A_{sh} : 스테드 단면적 (mm^2)
 Φ : $\mu_{avg} a / (h f_{ck})$
 v_2 : 콘크리트 유효압축강도 ($0.8 + 0.05 \lambda$)
 d : 부재 깊이 (mm)
 f_y : 강판의 항복강도 (MPa)

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 출연하고 한국수력원자력과 경기대학교 외 7개 대학에서 공동수행한 "SC구조 기술기준 개발사업(R-2005-1-392)"에 의한 것으로서 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강판콘크리트구조 내진설계 기술지침(안) 건물·구축물 편 (JEAG 4618)
2. M. P. Nielsen, "Limit Analysis and Concrete Plasticity, Second Edition". Chap. 3, 1999.
3. SC 1, 2차년도 면외실험 보고서 및 실험계획서 (전력연구원). 2006, 2007.
4. Deric J. Oehlers and Mark A. Bradford, 1999 "Elementary behaviour of composite steel and concrete structural members" PLANT A TREE.