

# 패널 전단파괴형 복합 병렬 전단벽 접합부의 비선형 유한요소해석

## A Nonlinear Finite Element Analysis of Hybrid Coupled Shear Wall Connections governed Panel Shear Failure

한민기\*      김선우\*\*      박완신\*\*\*      윤현도\*\*\*  
Han, Min Ki      Kim, Sun Woo      Park, Wan Shin      Yun, Hyun Do

### ABSTRACT

The major object of this paper is to propose a nonlinear finite element analysis(FEA) technique of steel coupling beams-wall connections governed panel shear failure using ABAQUS. Detailed finite element models are created by studying the monotonic load response of the designed steel coupling beams-wall connections. The developed models account for the effect of material inelasticity, concrete cracking, panel shear failure and geometric nonlinearity. In order to verify the proposed FEA model, this study attended experiment considered parameters to the steel beam : face bearing plates, and horizontal ties. And the analytical result attended by the proposed FEA model validated through comparisons with the experimental results. Finally, the study estimated the analytical values compared with ASCE Design Guidelines. At this time, the analysis showed good agreement between the theoretical and experimental results.

### 1. 서론

최근 철근콘크리트 벽체에 철골 커플링 보를 사용한 복합 병렬 전단벽(Hybrid coupled wall system, 이하 HCWS)에 대한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. HCWS는 철골과 철근 콘크리트의 이질 구조재료로 구성되어 있으므로 이들 구조재료간의 응력전달이 발생하는 접합부의 구조 성능이 전체 구조물의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 그러므로 철골과 철근콘크리트 재료의 장점을 최대한 활용한 HCWS 구조의 안정성을 확보하기 위해서는 철골 커플링 보-철근콘크리트 벽체 접합부를 구성하는 저항기구의 성능에 대한 규명이 절실히 필요하다고 할 수 있다. 한편, 국내에서는 패널전단파괴가 발생하는 SRC<sup>1)</sup> 및 지압파괴가 발생하는 HCWS 구조의 접합부<sup>2)</sup>에 대한 강성 및 에너지 소산능력 등의 규명을 위한 실험과 해석적·이론적인 연구가 일부 수행되고 있으나, 패널 전단파괴형 철골 커플링 보-철근콘크리트 벽체 접합부와 관련된 비선형 유한요소 해석방법에 대한 연구는 전무한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 HCWS 접합부의 패널 전단파괴를 해석적으로 규명하기 위해 범용 해석 프로그램인 ABAQUS 6.3<sup>3)</sup>을 이용하여 비선형 유한요소해석(Finite element analysis, 이하 FEA)을 행하였다. 또한, 철골 커플링 보의 보강 상세에 따른 효과를 변수로 하여 해석을 수행하였으며, 이를 실험 결과값 및 ASCE 설계규준식<sup>4)</sup>에 비교·분석하여 제안된 해석기법의 타당성을 검증하고자 한다.

\* 정회원, 충남대학교 대학원, 석사과정

\*\* 정회원, 충남대학교 대학원, 박사과정

\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축학부 교수, 공학박사

## 2. 선정 시험체

### 2.1. 시험체 계획

본 연구에서 패널 전단파괴가 발생하는 철골 커플링 보와 벽체 접합부에 대한 거동 및 강도 특성을 규명할 수 있는 해석모델을 제안하고 제안된 해석기법의 타당성을 검증하기 위하여 선정된 시험체는 본 연구실에서 실험한 HCWS로써 시험체 설계시 고려된 변수는 접합부 보강상세이다. 첫 번째 시험체는 접합부 매립영역을 보강하지 않은 HCWS-PSF 시험체이고, 두 번째 시험체는 지압플레이트(FBP)에 의한 영향을 평가하기 위해 벽체에 매립되는 철골 커플링 보 웨브 영역에 지압플레이트를 용접하여 보강한 HCWS-PSFF 시험체이며, 세 번째 시험체는 지압플레이트 및 수평타이의 기여도를 평가하기 위한 것으로 매립영역에 지압플레이트를 용접하여 보강하고 철골 커플링 보 웨브를 관통하여 수평타이를 추가 보강한 HCWS-PSFFT 시험체이며 시험체 계획 및 상세는 각각 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1 시험체 계획

시험체명	연결 상세			수평타이	스터드 볼트	벽체 철근
	①	②	③			
HCWS-PSF	-	-	●	-	12-Φ19	HD13 @230
HCWS-PSFF	●		●	-	12-Φ19	
HCWS-PSFFT	●	●	●	2-HD10	12-Φ19	

- ① FBP: 지압플레이트  
 ② HT: 수평타이  
 ③ ST: 스테드 볼트

표 2 철근 및 강재의 강도 특성

종류	특성	항복강도	항복변형률	탄성계수	인장강도
		(MPa)	( $\times 10^{-6}$ )	(GPa)	(MPa)
철근	D10	398	2,325	171	566
	D13	400	2,533	158	555
	Φ19	442	2,650	167	600
철골보	웨브	352	1,827	192	489
	플랜지	339	1,682	216	461
	FBP	240	1,219	197	387

표 3 콘크리트의 강도 특성

슬립프 (mm)	항복강도 (MPa)	항복변형률 ( $\times 10^{-6}$ )	탄성계수 (GPa)	프아송비
145	30.0	2,490	25.3	0.11

### 2.2 재료 시험

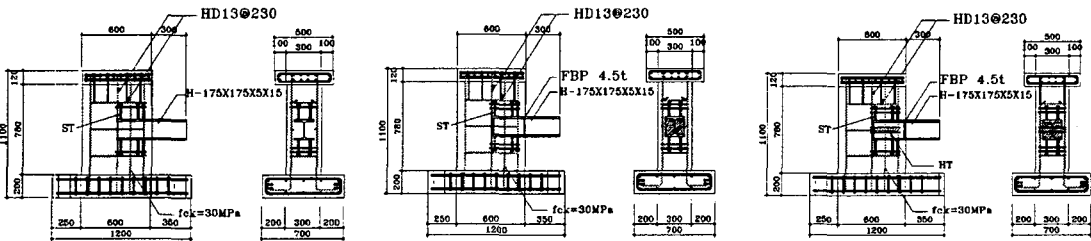
본 시험에서 사용된 철근, 강재 및 콘크리트의 재료 시험은 KS B 0801 및 KS F 2404의 라호 규정에 따라 시험편을 제작하여 KS B 0802 및 KS F 2404의 규정에 따라 시험을 실시하였으며 시험결과를 표 2 및 3과 같다.

### 2.3 실험 방법

철근콘크리트 전단벽에 매립된 철골 커플링 보의 하중-회전각 관계를 파악하기 위하여 표준 시험체인 HCWS-PSF를 기준으로 예상 파괴하중의 1/2까지는 하중제어로 가력하였고, 그 이후에는 변위제어로 가력하였다.

### 2.4 시험체의 이상화

HCWS의 구성 요소 중 콘크리트 벽체와 철골 커플링 보의 평면응력 상태의 2차원 4절점 쉘 요소(CPS4R)를 적용하였으며, 철근은 트러스(Truss) 요소를 사용하였다. 콘크리트의 모델은 최대 강도 이후

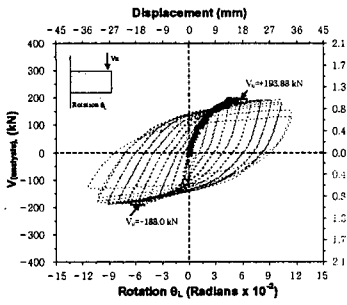


(a) HCWS-PSF

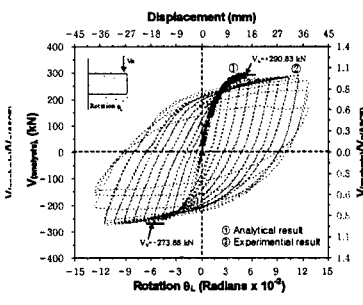
(b) HCWS-PSFF

(c) HCWS-PSFFT

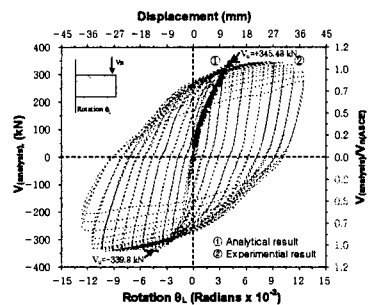
그림 1 시험체 상세(Unit : mm)



(a) HCWS-PSF

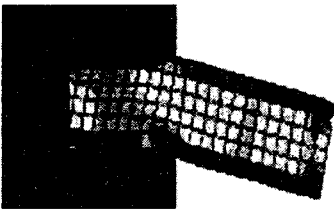


(b) HCWS-PSFF

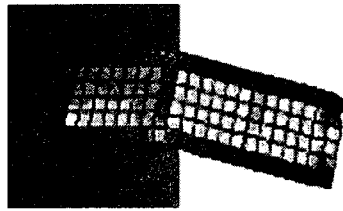


(c) HCWS-PSFFT

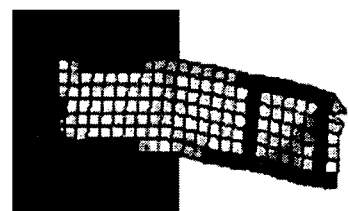
그림 2. 하중-회전각 관계곡선



(a) HCWS-PSF



(b) HCWS-PSFF



(c) HCWS-PSFFT

그림 3. 응력 분포(Contour)

의 거동을 표현할 수 있는 “Concrete damaged plasticity” 모델을 이용하였고 스티드 볼트, 스티럽 및 수평 타이에 의해 구속된 압축콘크리트의 경우 Saatioglu & Razvi의 모델을 적용하였다. 전단벽의 콘크리트와 철근은 완전부착으로, 지점은 고정단으로 가정하였다.

### 3. 해석 및 실험결과의 비교·분석

본 절에서는 HCWS에서 패널 전단파괴시 발생하는 철골 커플링 보와 벽체 접합부에 대한 거동 및 강도특성을 해석적으로 규명하기 위하여 지압플레이트 및 수평 타이를 변수로 비선형 유한요소해석을 수행하였으며 해석값을 ASCE 규준식 및 실험결과를 비교·분석하여 타당성을 검증하였다.

#### 3.1 지압플레이트의 영향

표 4 및 그림 2, 3 (a), (b)는 지압플레이트의 보강 유무를 변수로 하여 HCWS-PSF 시험체와 HCWS-PSFF 시험체를 비교한 것이다. 표 및 그림에서 나타난 바와 같이 지압플레이트가 보강된 HCWS-PSFF 시험체의 해석값은 지압플레이트가 보강되지 않은 HCWS-PSF 시험체보다 51.47%의 최대내력의 증가를 보였다. 이는 매립된 철골 보 웹 영역에 부착된 지압플레이트에 의해 형성된 철골 커플링보-벽체 접합부의 콘크리트 압축 스트럿의 저항 메커니즘에 의한 영향으로 판단된다.

표 4 해석 및 실험결과의 비교·분석

Specimen \ Result	Maximum capacity $V_{max}$ (kN)					Moment at $V_{max}$		
	Experiment $V_{max}(exp)$	ASCE guideline $V_{max}(ASCE)$	Analysis $V_{max}(anal)$	$V_{max}(ASCE)/$ $V_{max}(anal)$	$V_{max}(exp)/$ $V_{max}(anal)$	Experiment $M_{exp}$	Analysis $M_{anal}$	$M_{exp}/M_{anal}$
HCWS-PSF	193.88	189.42	193.23	0.98	1.00	5.72	5.32	1.08
HCWS-PSFF	290.83	286.43	292.69	0.98	0.99	5.57	5.05	1.10
HCWS-PSFFT	345.48	336.91	361.92	0.93	0.95	5.16	4.55	1.13

### 3.2 수평 타이의 영향

표 4 및 그림 2, 3 (b), (c)는 수평 타이의 보강 유무를 변수로 하여 HCWS-PSFF 시험체와 HCWS-PSFFT 시험체를 비교하여 나타내었다. 표 및 그림에서 나타난 바와 같이 수평 타이가 보강된 HCWS-PSFFT 시험체의 해석값은 수평 타이가 보강되지 않은 HCWS-PSFF 시험체보다 23.65%의 최대내력의 증가를 보였다. 이는 매립 영역의 수평 타이에 의해 형성된 철골 커플링보-벽체 접합부의 외부 콘크리트의 구속효과에 따른 수평 전단력과 지압응력의 저항 메커니즘에 의한 영향으로 판단되며, 해석시 수평 타이에 의한 콘크리트 압축영역의 전단 패널 강도의 기여분은 지압플레이트의 두께의 증가와 구속 콘크리트 모델을 사용하여 고려하였다.

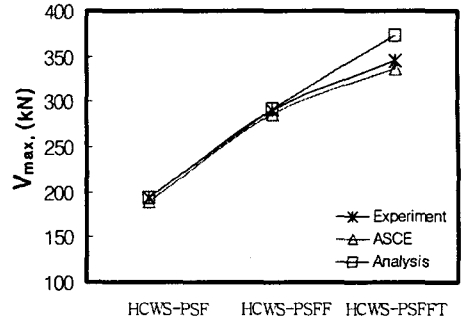


그림 4. ASCE 표준식과의 비교

### 3.3 표준식과의 비교

그림 4는 ASCE 표준식에 따른 이론값과 실험값 및 해석값의 최대 내력을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 지압플레이트와 수평 타이가 보강되지 않은 HCWS-PSF 시험체와 지압플레이트만 보강된 HCWS-PSFF 시험체의 경우 해석값, ASCE 표준식, 실험값이 잘 일치하였으며, 지압플레이트와 수평 타이가 모두 보강된 HCWS-PSFFT 시험체의 경우 해석값이 실험값과 ASCE 표준식보다 5~7% 정도 높게 나타나 해석값은 대체적으로 실험값을 잘 예측하는 것으로 나타났다.

### 4. 결론

본 연구는 패널 전단파괴형 복합 병렬 전단벽 접합부의 비선형 유한요소해석에 관한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구에서는 지압플레이트 및 수평 타이의 보강 유무를 변수로 HCWS의 비선형 유한요소해석을 수행하였으며 각각의 보강 효과는 지압플레이트가 보강된 HCWS-PSFF 시험체는 지압플레이트가 보강되지 않은 HCWS-PSF 시험체보다 51.47%의 최대내력의 증가를 보였고, 수평 타이가 보강된 HCWS-PSFFT 시험체는 수평 타이가 보강되지 않은 HCWS-PSFF 시험체보다 23.65%의 최대내력의 증진을 보였다.

2) 지압플레이트와 수평 타이가 보강되지 않은 HCWS-PSF 시험체와 지압플레이트만 보강된 HCWS-PSFF 시험체의 경우 해석값, ASCE 표준식, 실험값이 잘 일치하였으며, 지압플레이트와 수평 타이가 모두 고려된 HCWS-PSFFT 시험체의 경우 해석값이 실험값과 ASCE 표준식보다 5~7% 정도 높게 나타나 해석값은 대체적으로 실험값을 잘 예측하는 것으로 나타났다.

3) 향후 반복하중을 받는 HCWS, 휨파괴형 HCWS 및 프리캐스트 콘크리트 커플링 보를 사용한 HCWS에 대한 해석 연구도 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

- 이리형 등, (2003), "철골 콘크리트 기둥과 철골보 접합부의 전단거동." 대한건축학회 논문집(구조계), 제 19권(8), 19-26.
- Yun Hyun-Do et al. (2005), "Shear strength of the connection between a steel coupling beam and a reinforced concrete shear wall in a hybrid wall system" Journal of Constructional Steel Research, 61(7), in press.
- ABAQUS Theory Manual, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.
- ASCE Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete.(2001). "Guidelines for Design of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Column." ASCE Journal, 127(2), 3~11.