

프리캐스트 경량골재 콘크리트 특수전단벽의 내진성능에 대한

V-타이와 강판 볼팅 공법의 영향평가

Impact of V-ties and Bolting Techniques on the Seismic Behavior of Precast Lightweight Aggregate Concrete Special Shear Walls

김윤정, 임채림, 문주현, 양근혁

1. 서론

- 프리캐스트 콘크리트(precast concrete, PC) 전단벽은 기초 접합부에서 일체성이 충분히 확보되지 않으면 상부의 횡력이 기초로 원활하게 전달되지 않을 뿐만 아니라 연성 또한 급격히 저하된다
- 스플라이스 슬리브 공법은 기초 접합부의 과도한 슬립으로 인한 취성적 거동이 문제점으로 지적되고 있으며, 이는 경량골재 콘크리트(lightweight aggregate concrete, LWAC)에서 더 심화될 수 있다.
- LWAC로 제작된 PC 전단벽의 기초부 접합방법은 동등성 개념의 내진성능 평가에 기반한 안전성 검증이 필요하며, 연성확보 측면에서 보조 띠철근 배근량(A_{sh})과 보조 띠철근 종류의 변화를 포함하는 포괄적인 변수를 고려한 구조적 안전성의 평가가 필요하다.

2. 실험

- 주요변수는 A_{sh} , 보조 띠철근의 종류 및 기초부의 접합 공법이다. A_{sh} 는 최소 띠철근 배근량의 1.0배 및 2.0배를, 보조 띠철근의 종류는 크로스타이 및 Yang(2015)의 V-타이를, 기초부의 접합공법은 스플라이스 슬리브 공법 및 Yang et al.(2021)의 강판 볼팅 공법을 적용하였다.
- 모든 실험체는 전경량골재 콘크리트로 타설되었으며, 측정된 콘크리트의 압축강도 및 단위용적 중량은 각각 39.6 MPa 및 1,755 kg/m³이었다.
- 실험체는 경계요소의 띠철근 배근 간격 완화시키기 위해 양단에 단면 크기가 250 mm × 250 mm의 경계요소를 갖는 바벨형 특수전단벽으로 설계하였다.
- 실험체의 길이, 웹 두께 및 높이는 각각 1,200 mm, 170 mm 및 3,150 mm이다.
- 주철근은 직경 16 mm인 이형철근을 8개씩 배근하였으며, 웹의 수평 및 수직 전단철근은 직경 10 mm의 이형철근을 각각 200 mm 및 300 mm 간격으로 배근하였다.
- 실험체의 가력은 축력비($N_u/f_{ck}A_g$)를 0.1로 일정하게 유지한 상태에서 FEMA 356(2000)의 기준에 따라 제시된 변위이력으로 반복 횡하중을 도입하였다.

3. 실험결과 및 분석

- 모든 실험체는 변위각비(δ_R)가 1.47%(13 사이클)에서 최대내력(P_n)에 도달함과 동시에 콘크리트 피복이 박리되었다.
- 주철근의 좌굴은 A_{sh} 가 2.0으로 설계되고 강판 볼팅 공법으로 접합된 실험체에서 가장 늦게 발생하였다.
- 강판 볼팅 공법 실험체는 동일 배근상세의 스플라이스 슬리브 공법 실험체보다 약 2.6배 넓은 소성힌지영역을 보였다.
- V-타이를 배근한 실험체는 띠철근의 벌어짐이 발생하지 않았으며, 크로스타이 실험체보다 코어 콘크리트 영역의 손상이 적었다.
- 모든 실험체의 휨 모멘트(M_n)는 KDS 14 20 00(2021)을 통해 산정된 휨 모멘트 이상이므로 안전측으로 평가되었다.
- 변위연성비(μ_Δ)는 A_{sh} 가 1.0이고 V-타이가 배근된 강판 볼팅 공법 실험체에서 A_{sh} 가 2.0이고 크로스타이가 배근된 스플라이스 슬리브 공법 실험체보다 1.21배 높았다.
- 전단벽의 μ_Δ 를 향상시키기 위해서는 보조 띠철근으로 V-타이를 배근하고 강판 볼팅 공법으로 기초부를 접합하는 것이 효과적이다.
- 누적 일손상지수(W_{80})는 A_{sh} 를 2.0으로 설계하거나, 강판 볼팅 공법을 적용하거나, V-타이를 배근함에 따라 1.11 ~ 1.78배 향상시킬 수 있다.

표 2. 실험결과									
Specimens	P_y (kN)		P_n (kN)		M_n (kN·m)	Δ_y (mm)	Δ_{80} (mm)	μ_Δ	W_{80}
	+	-	+	-					
1CB	332	330	361	347	1,239	20.4	78.5	3.85	81.5
1VB	312	295	367	351	1,256	20.3	81.1	4.00	90.5
2CS	346	325	393	371	1,337	20.9	69.0	3.30	78.7
2CB	336	327	392	382	1,355	19.3	87.4	4.54	140.5

Note] P_y 및 P_n = 주철근 항복 시점 및 최대 내력 시점의 횡하중, M_n 및 $M_{n(KDS)}$ = 실험결과 및 KDS 14 20 00에 따라 산정한 최대 휨 모멘트, Δ_y 및 Δ_{80} = 항복 및 P_n 이후 0.8 P_n 시점의 횡변위, μ_Δ = 변위연성비, W_{80} = 누적 일손상지수.

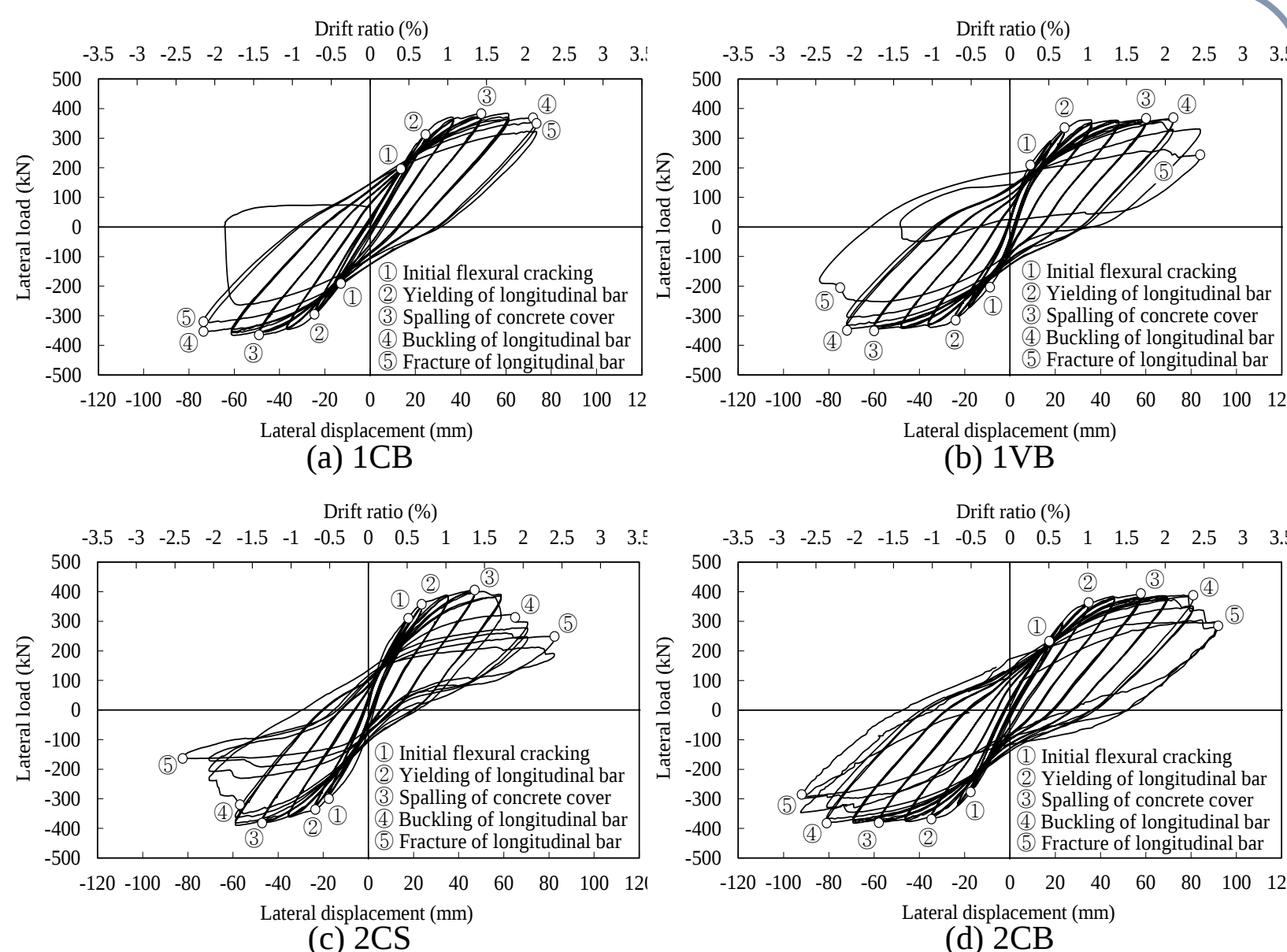


그림2. 횡하중-횡변위 관계

4. 절대적 동등성 평가

- PC 전단벽의 내진성능은 ACI ITG 5.1-07(2007)에서 제시하는 PC 특수 전단벽의 절대적 동등성 평가를 통해 확인하였다.
- ACI ITG 5.1-07(2007)의 절대적 동등성 평가는 PC 전단벽에서 저하되는 내력, 강성 및 연성을 보완하기 위해서 절대적 동등성 관점에서 전단벽의 내진성능을 평가하고 있다.
- PC 전단벽은 충분한 연성을 확보하기 위해서 한계변형각(δ_L) 이상의 변형 능력과 그 시점에서의 일정값 이상의 강도, 강성 및 에너지 소산능력이 요구된다. PC 전단벽 실험체의 δ_L 는 2.45이며, 파괴시점의 변형각(δ_F)이 δ_L 이상이었던 실험체 2CB에 대해서만 절대적 동등성 평가를 진행할 수 있었다.
- $P_n/P_{n(ACI)}$ 는 최대하중의 예측값 대비 실험값의 비로서 PC 전단벽에서 횡하중이 충분히 발휘되었는지를 확인하기 위한 지표이며, 0.9 ~ 1.2 사이의 값을 만족하여야 한다. 모든 PC 전단벽 실험체는 1.08 ~ 1.18로 모두 기준을 만족하였다.
- P_L/P_n 는 횡하중 저감 비율로서 PC 전단벽이 P_n 이후에 충분한 강도를 유지하고 있는지를 확인하기 위한 지표이며, 0.8 이상의 값을 확보하여야 한다. 실험체 2CB의 P_L/P_n 는 0.896으로, 기준값의 1.12배 높은 수준으로 기준을 만족하였다.
- K_L/K_I 는 δ_L 에서의 강성 저감 비율로, PC 전단벽에서 P_n 이후의 거동에서 충분한 강성을 유지하고 있는지 확인하기 위한 지표이며, 0.1 이상의 값을 확보하여야 한다. 실험체 2CB의 K_L/K_I 는 0.286으로, 기준값의 2.86배로 현저히 높았다. β_L 는 δ_L 에서의 상대적 에너지 소산 비율로서 δ_L 에서의 충분한 에너지 소산 능력 확보 여부를 확인하기 위한 지표로, 그 값이 0.125 이상이어야 한다. 실험체 2CB의 β_L 는 0.318로, 일체형 전단벽과 동등 이상의 에너지 소산 능력을 확보함을 확인하였다.

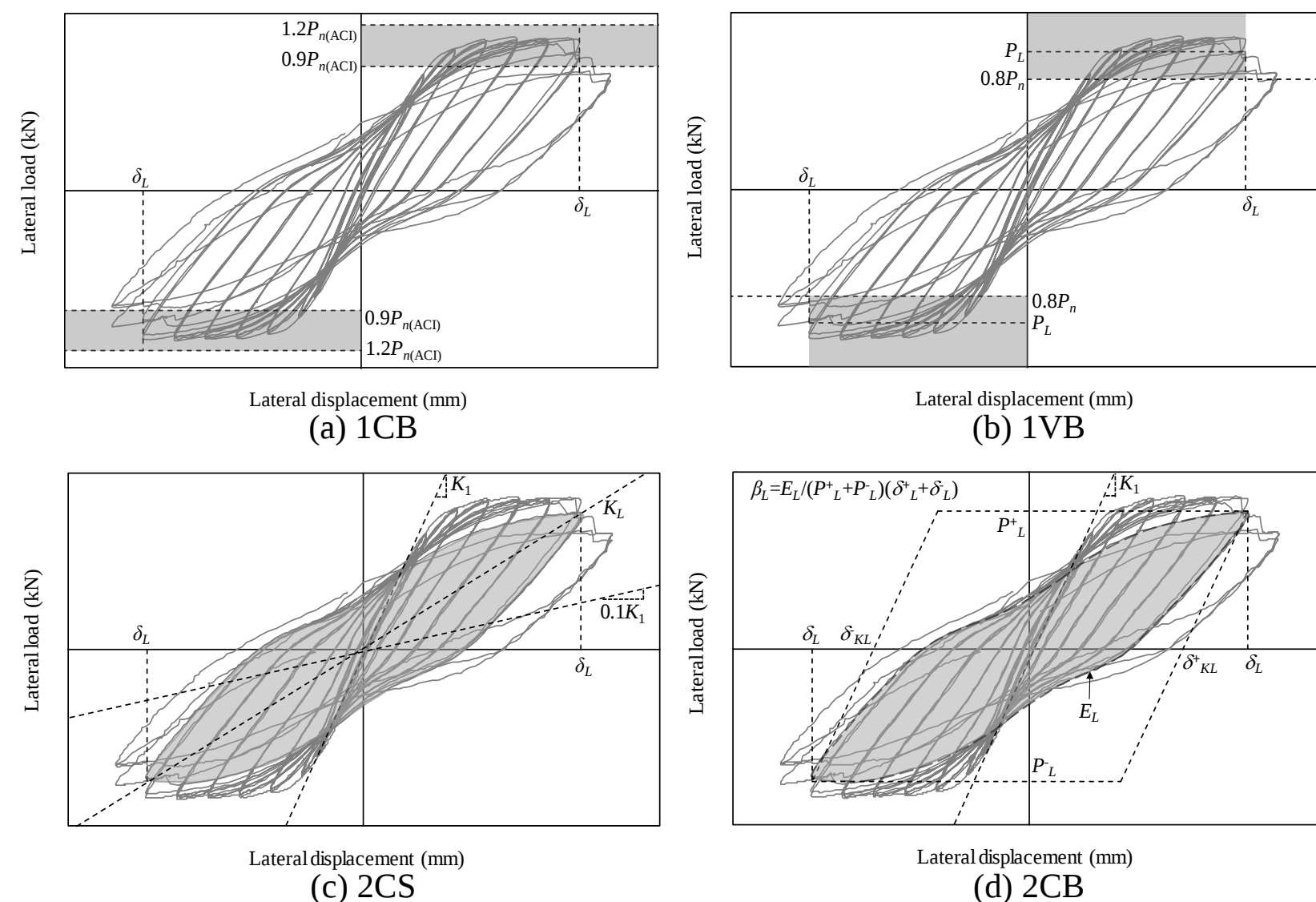


그림3. 절대적 동등성 평가

5. 결론

- A_{sh} 가 1.0으로 설계되었음에도 V-타이 및 강판 볼팅 공법을 적용한 PC 전단벽은 A_{sh} 가 2.0이고 크로스타이 및 스플라이스 슬리브 공법을 적용한 PC 전단벽보다 높은 μ_Δ 및 W_{80} 을 확보할 수 있었다.
- 보조 띠철근으로서의 V-타이의 적용은 강판 볼팅 공법으로 접합된 PC 특수전단벽의 연성 능력 향상에 효과적이다.
- 취성적인 경향이 높은 LWAC로 제조된 PC 전단벽은 ACI ITG 5.1-07에서 요구하는 내진성능을 만족할 수 있는 수준의 충분한 휨 전달력과 연성을 확보하기 위해 2.0이상의 A_{sh} 와 기초부 접합방법으로서 강판 볼팅 공법의 적용이 요구된다.