

철골보에 연결된 프리스트레스 할로우-코아 슬래브 전단강도

The Shear Strength of Prestressed Hollow-Core Slab on flexible steel beams

홍 성 곁*
Hong, Sung Gul

박 경 언**
Park, Kyoung Yeun

조 봉 호***
Jo, Bong Ho

ABSTRACT

This research aims to estimate the shear strength of the composition of prestressed hollow-core slab and steel beam. The shear strength of prestressed hollow-core slab combined with the steel beam decreases, as the beam deflection increases to a considerable extent. Existing studies on the shear strength of prestressed hollow-core slab are mostly limited to 265mm- and larger thickness slab on concrete beam. This study investigates the slab of 100mm-thickness combined with steel beam instead of concrete beam. Five shear connector methods are proposed and the shear strength is estimated with or without the beam deflection for each composition method, respectively. Finally the reduction coefficient (β) for the transverse shear stress(τ_v), which is critical for the failure of prestressed hollow-core slab, is proposed.

1. 서론

기존 프리스트레스 할로우-코아 슬래브(이하 PHC슬래브)에 대한 연구는 슬래브 두께 265mm이상의 비교적 두꺼운 슬래브에 대해서 연구되었으며, 또한 슬래브와 보와의 합성 시 보는 콘크리트보로 합성이 주를 이루었다. 본 연구에서는 PHC 슬래브 두께 100mm에 대해, 콘크리트보 대신 철골보와의 합성을 연구대상으로 하였으며, 일반적인 PHC슬래브 전단강도 연구와 동일하게, 내력벽위의 PHC슬래브와 같이 처짐이 거의 없는 보(Nonflexible beam)위에서의 PHC 슬래브 전단강도값과 처짐이 발생하는 보위(flexible beam)에서의 PHC슬래브의 전단강도값이 어떤 변화를 일으키는 지에 대해 연구했다. 그러나, 콘크리트보가 아닌 철골보를 사용함으로써 발생하는 철골보와 PHC슬래브 합성문제가 먼저 해결되어야 하며, 이를 해결하기 위해 5가지 합성형태를 제안했고, 5가지 합성형태가 철골보와 PHC슬래브에 미치는 수평전단력에 합성성능이 어떻게 발휘되는 지에 먼저 확인이 필요했다. 그래서, PUSH-TEST를 통해 각각의 합성형태가 성능이 얼마나 발휘되는 지 확인 후, 첫 번째로, 합성형태변화에 따라 처짐이 있는 보 위에서의 PHC슬래브 전단강도값과 상관관계를 알아보고, 두 번째로, 처짐이 있는 보 위에서의 합성이 안된 경우와 합성이 되어 있는 경우의 PHC슬래브 전단강도값을 비교하였으며, 세 번째로, 각각의 합성형태에 따라, 처짐이 있는 경우와 처짐이 없는 경우의 전단강도값의 변화를 확인하였다. 마지막으로, 기존 연구에서 제시하고 있는 PHC슬래브 파괴기준식에 의거 각각의 합

* 정회원, 서울대학교 건축학과 부교수

** 정회원, 서울대학교 건축학과 석사과정

*** 정회원, 포항산업과학연구원 선임연구원

성형태별 최대주응력값을 산정하였고, 처짐이 있는 보와의 PHC슬래브가 합성이 안된 경우의 파괴하중을 기준으로 하여, 각각의 합성형태가 PHC슬래브 파괴기준식에서 최대주응력값에 가장 크게 영향을 미치는 transverse shear stress의 값에 얼마나 감소시켜 전단강도값 향상에 기여하는 지 확인 후, 각각의 합성형태 중 기여도가 높은 합성형태를 제안하였다.









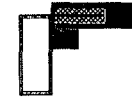
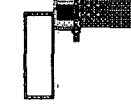
2. 전단연결재 방법에 따른 전단강도 실험

FIP에서 제시하는 PHC슬래브의 파괴기준은 식1과 같으며, α 기서, $\sigma_c, \tau_{xy}, \tau_{yx}, f_{ct}$ 는 각각 PHC슬래브의 공칭응력, PHC슬래브 스패길이 방향의 전단응력(longitudinal stress), PHC슬래브의 보 길이방향의 전단응력(transverse shear stress), PHC슬래브의 콘크리트 인장강도이다. 이 응력요소에서 슬래브의 파괴기준식에 가장 큰 영향을 미치는 값은 τ_{xy} 이며, 이 값을 감소시켜주는 요소인 β 는 보와 슬래브의 합성형태에 따라 다른 값들을 제시하고 있다.

$$\sigma_c = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2 + \beta \cdot \tau_{yx}^2} \leq f_{ct} \dots \dots \dots (1)$$

콘크리트보 대신 각형강(300×100×6×12)을 기본 철골보 형태로 하였으며, PHC슬래브와 철골보의 합성을 위해 철골보 옆면에 γ 형강(75×75×9)을 합성보 설계기준에 맞도록 위 상단에 용접하였으며, 그 윗면에 PHC슬래브를 얹을 때의 합성형태를 표1과 같이 5가지 형태로 제안하였다. 일반적으로, 실제 철골보와의 합성후 보길이 7m를 기준으로 사용될 것을 대비하여 철골보와 PHC슬래브에 작용하는 수평전단력에 대해 검증하기 위해 그림1과 같이 각 전단연결재에 대해 합성실험을 실시하였으며, 그 실험은 기존 PUSH-TEST에 근거하여 실험체 크기를 정하고, 실제 실험값을 기존 실험값과 비교후, 각 전단연결재의 합성성능을 파악하였다. 탄성설계범위내에서 완전합성을 100%로 기준하여 정리하면 표2와 같다.

표1. 합성시 전단연결재의 형태 및 슬래브와 합성후 단면모습

구 분	합성형태-1 (스터드형)	합성형태-2 (일자형)	합성형태-3 (T자형)	합성형태-4 (철근삽입형)	합성형태-5 (ㄷ자형)
전단연결재 상세 모습					
합성 후 단면모습					

※ 중공부 콘크리트 채움 깊이 : 150mm

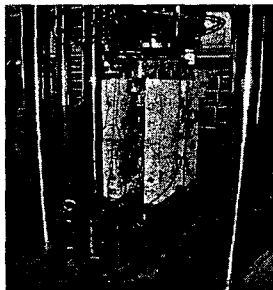


그림1. PUSH-TEST 실험모습

구 분	슬래브1개가 전단해야할 하중의 계산값(tonf)-①	실험 측정값 (tonf)-②	②/①×100 %
합성형태-1 (스터드형)	10.2	11.64	114%
합성형태-2 (일자형)		15.18	149%
합성형태-3 (T자형)		18.16	178%
합성형태-4 (철근삽입형)		13.28	130%
합성형태-5(ㄷ자형)		17.38	170%

표2. 계산된 전단력값과 실험값과의 합성성능판단

우선, 처짐이 발생하는 보위(flexible beam)에서의 합성된 실험체와 합성이 안된 실험체의 전단강도 값을 비교하고, 그 후, 처짐이 거의 없는 보위(nonflexible beam)에서의 PHC슬래브의 전단강도값과 비교하기 위해, 처짐이 발생하도록 설계된 실험체는 한쪽 보가 처짐이 발생할 수 있도록 철골보 길이를

3m로 하였으며, 처짐이 없는 보 는 PHC슬래브 폭과 동일한 1m로 PHC슬래브 양끝단에서 철골보와 합성시켜 관찰하였으며, 처짐(deflection)요소만 관찰하기 위해 모든 실험체는 비틀림 요소를 제거하도록 실험체별 장치를 별도로 하였다. 실험체별 열거하면 표3과 같다.

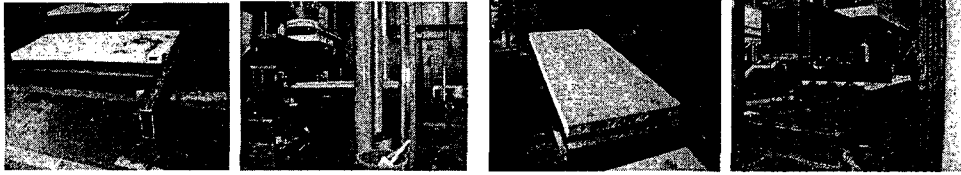


그림2. 처짐이 발생하도록 설계된 것과 발생하지 않도록 설계된 실험체 모습 및 각각 실험모습
표3. 전단강도 비교를 위한 실험체 구성

실험체		크기	note
보의 처짐이 발생하도록 설계된 실험체	실험체-1(스터드형 합성)	한쪽보 길이: 3m	합성된 것
	실험체-2(일자형 합성)		
	실험체-3(T자형 합성)		
	실험체-4(철근삽입형 합성)		
	실험체-5(ㄷ자형 합성)		
	실험체-6(철골보위에 고무+철근삽입형)		
	실험체-7(합성하지 않음)		합성되지 않은 것
보의 처짐이 거의 발생하지 않도록 설계된 실험체	실험체-8(스터드형)	PHC슬래브 끝단 양쪽보 길이	합성된 것
	실험체-9(일자형)		
	실험체-10(T자형)		
	실험체-11(철근삽입형)		
	실험체-12(ㄷ자형)		

실험결과 중 가장 먼저 보의 처짐이 있는 것(flexible beam)과 없는 것(nonflexible beam)의 전단강도 값 차이를 확인하고, 수평전단력에 대한 합성성능과의 관계를 확인하였다. 그 결과는 표4과 같다.

표4. 처짐의 유,무에 따른 PHC슬래브의 전단강도 비교

합성형태	보의 처짐이 발생하도록 설계된 실험체 전단강도 (tonf)-①	보의 처짐이 발생하지 않도록 설계된 실험체 전단강도 (tonf)-②	강도저감정도(%) : (②-①)/②×100	합성성능(%)
스터드형	5.4	8.6	37.2	114
일자형	5.97	8.0	25.3	149
T자형	6.0	8.7	31.0	176
철근삽입형	6.4	7.6	15.8	130
ㄷ자형	5.8	7.76	25.2	170
고무+철삽	6.8	실험체 없음	-	-

두 번째 실험결과는, 처짐이 발생하는 상황은 같으나, PHC슬래브와 철골보와의 합성 유,무에 따라 전단강도값이 어떻게 변화하는 지 확인하였다. 그 결과는 표5와 같다.

표5. 처짐이 발생하는 철골보에서 합성하지 않은 것과 합성한 것의 전단강도값 비교

종류	PHC슬래브 옆단면에서 크랙이 시작된 하중 (tonf) ①	PHC슬래브가 함복하기 시작한 하중 (tonf) ②	슬래브 함복시점의 철골보 처짐 (mm)	전단강도 증가정도(%) ①기준 : (②-①)/②×100	
합성이 되어 있지 않은 실험체 ①	2.5	4.9	1.5	-	
합성된 실험체 ②	스터드형	4.56	5.4	2.4	10
	일자형	4.5	5.97	2.2	18
	T자형	5.0	6.0	2.49	18.3
	철근삽입형	5.2	6.4	2.65	23.4
	ㄷ자형	4.0	5.8	2.01	15.5

세 번째 확인사항은, 실험결과값을 활용하여, 합성이 안될 때를 PHC슬래브의 파괴기준으로 하고, 이때 합성형태에 따른 τ_x 의 저감계수인 β 을 계산하였다. 그 결과는 표6과 같다.

표6. 처짐이 발생하는 철골보에서 합성하지 않은 것과 합성한 것의 전단강도값 비교

구 분		σ_y	τ_y	τ_x	σ_t (β 값을 1로 계산한 경우)	f_{ct}	β (①을 기준으로 계산된 값)
		(kgf/cm ²)					
합성이 되어 있지 않은 실험체 ①		-8.338	4.389	31.78	24.01	-설계강도 기준 시: 40	1
합성된 실험체	스터드형			35.78	32.12		-공시체 실험강도 기준시: 54.7
	일자형			38.73	35.03	0.82	
	T자형			38.92	35.21	0.81	
	철근삽입형			41.52	37.79	0.76	
	ㄷ자형			37.63	33.94	0.84	

3. 결론

실험결과, 기존 콘크리트보와 합성된 PHC슬래브 두께 265~400mm전단강도의 실험인 Pajari의 값과 비교 분석해 보면, 그의 실험값에서는 처짐이 거의 없도록 설계된 실험체 값보다 처짐이 발생할 때의 전단강도값이 23~60%정도 광범위한 범위내에서 감소를 보였다. 본 실험에서는 15~37%범위내에서 강도감소를 보였다. Pajari의 강도감소정도 보다 낮고 범위가 좁은 감소정도를 보인 까닭은 슬래브 두께의 100mm 사용으로 항복강도까지 작은 항복값에 보다 빨리 도달하기 때문이며, 보다 큰 차이점은 Pajari의 슬래브는 콘크리트보와 슬래브가 동시에 항복하중값까지 일체화되어 거동하지만, 철골보위에 PHC슬래브는 사실상 철골보의 항복을 기대하기는 힘들고, 단지 처짐의 큰 영향보다는 슬래브 자체의 파괴기준에 더 관련이 있기 때문으로 사료된다.

1) 수평전단력에 대해 합성성능이 100%(완전합성보 추정)이상 발휘될 때는 PHC슬래브의 수평전단력과 전단강도의 상관관계를 찾기는 힘들다는 것을 확인할 수 있다.

2) 처짐이 발생하도록 설계된 실험체에서 합성된 것은 합성되지 않은 것에 비해 전단강도가 10~23.4%의 증가를 보였으며, 이때 처짐도 전단강도의 증가에 따라 비례하여 증가하였고, 이로써, 어떤 합성형태든 합성되지 않은 것보다 향상된 전단강도값을 얻을 수 있었다.!

3) τ_x (transverse shear stress)의 감소계수인 β 값 결정에서 계산에 의하면, 기존의 0.38~0.876값보다 높은 0.76~0.9값을 보였으며, 이 수치는 슬래브 두께, 철골보와의 상관성이 있고, 합성을 하지 않은 실험체에 대해 감소계수를 1로 하여 계산한 후, τ_x 의 저감정도에 대해 판단해 보면, 합성형태별 스투드형 10%, 일자형 18%, T자형 19%, 철근삽입형 24%, ㄷ자형 16%이어서 가장 전단강도 향상에 효과적인 합성형태는 철근삽입형이고, 실험결과 휨성능을 향상시키기 위해 철골보위에 고무를 얹고 PHC슬래브를 철근삽입형으로 합성시키면 보다 전단강도 값에 기여할 수 있다고 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 포항산업과학연구원(RIST)의 연구비 지원과 강남건영(주)의 프리스트레스 할로우-코아 슬래브 무상지원으로 이루어 졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Matti Pajari and Heli Koukkari, "Shear Resistance of PHC Slabs supported on Beams. I: tests", ASCE vol.124, 1998.9 PP4~128
2. Matti Pajari, "Shear Resistance of PHC Slabs supported on Beams. II: Analysis", ASCE vol.124, 1998.9 PP7~112
5. SJ Hicks and RM Lawson, "Design of Composite Beams using Precast Concrete Slabs", SCI Publication 2000.2 PP12~287