

리브플러스 PC슬래브의 수평전단강도 평가

Evaluation on the Horizontal Shear Strength of Precast Concrete Slab with the Inverted-Rib-Plus

박 금 성¹⁾ 이 상 섭²⁾ 최 윤 철^{3)*}
Park, Keum Sung Lee, Sang Sup Choi, Yun Cheul

Abstract

This study investigates the horizontal shear behavior of an interface between precast concrete (PC) and topping concrete(RC), and evaluates the horizontal based on the investigations by the experimental. Horizontal shear strength in connected surface is determined by the roughness an interface and the shear reinforcement or not. In this study, the main experimental parameters are the shear reinforcement types in the shape of loop-type and lattice-type, rebar spacing. A total of four specimens were shear strength tested and manufactured. As a result, the horizontal shear strength of reinforced connected surface was found to be controlled by deformation in vertical direction. Comparison of reinforcement shape, the mean initial crack load loop type specimens, the average maximum load and the junction of the average in terms of initial stiffness, respectively 33.7%, 45.9% and 55.2% were large enough. Evaluation results for shear strength equation of existing standard domestic, the loop-type reinforced 2.32 to 4.23 times, lattice-type reinforced 1.65 to 3.06 times appears to be higher. Behavior of interface or strength of structural design criteria was fairly safe side. It does not have any problems in the applied field is considered.

Keywords : Connected surface, Horizontal shear, Precast Concrete slab, Loop type, Lattice type

1. 서 론

PC슬래브는 PC 공법이 쇠락하는 가운데도 관련 연구나 공법개발이 활발하게 진행되어져 현재는 공장, 대형매장, 물류창고 및 경기장 등에 확대 적용되고 있으며, 특히 국내 주요 건설사는 아파트 현장의 지하주차장(대한주택공사, 2008) 건설에 PC 공법의 장점이 발휘되면서 PC슬래브의 적용이 점점 늘어나는 경향을 보이고 있다. 리브플러스 PC슬래브 시스템은 현장여건에 맞는 최적화된 단면설계가 가능하다. 접합부의 연속성 및 일체성 확보가 가능할 뿐만 아니라 EPS 매입을 통한 슬래브 자중 감소로 장스팬 구현이 가능하며, 바닥 두께 감소로 층고 확보에 유리한 장점이 있는 1방향 PC슬래브(한국건설기술연구원, 1992) 시스템이다.

이러한 1방향 PC 합성슬래브가 힘을 받으면, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 PC슬래브 부재와 현장타설 콘크리트

부착면 사이에 상호거동이 일어나서 수평방향 변형이 일어나게 된다. 수평 상호거동을 방지하지 않으면 두 부분은 각각 분리된 슬래브로 작용하게 될 것이다. 그러므로 이 부분을 일체로 작용하도록 하기 위해서는 즉, 완전 합성작용을 시키기 위해서는 수평 상호거동을 방지해야 한다. 상호거동을 방지하기 위해서는 두 부분의 접합면에 작용하는 수평전단력의 전달 방법이 마련되어야 한다. 현장타설 토폭부에 있어서는 최대모멘트를 받는 단면에서 수평전단력이 내측으로 작용하고, 하부 PC 부분에서는 외측으로 작용한다.

특히, Fig. 2에 나타낸 리브플러스 PC합성슬래브와 같이 접합면이 넓은 부재에 있어서는 두 콘크리트 사이의 점착력과 마찰력에 의하여 이 전단력을 부담하게 된다. 이러한 전단력에 저항케 하기 위해서 일반적으로 접촉면을 거칠게 성형하거나 철근이나 기타 강재를 사용하여 전단 연결재를 이용한다.

1) 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
2) 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원
3) 정회원, 청운대학교 건축설비소방학과 교수

* Corresponding author : 2lyechoi@chungwoon.ac.kr 041-630-3298
• 본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

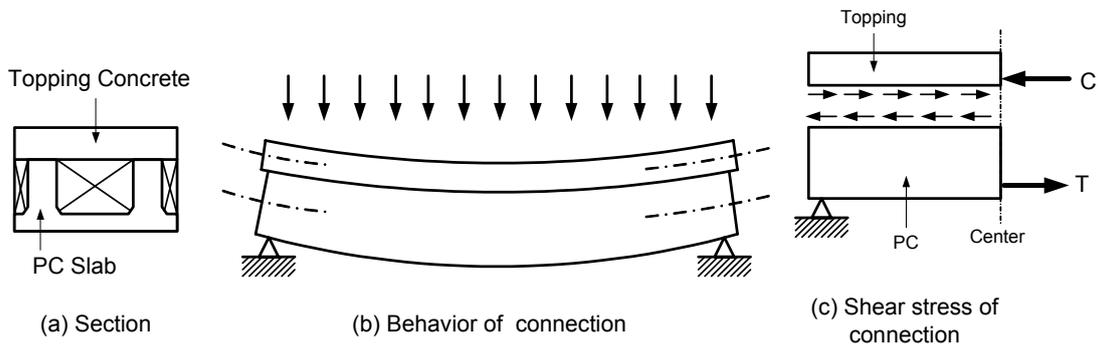


Fig. 1 Flexural behavior of precast concrete



Fig. 2 Section shape of Rib-plus PC slab

본 연구에서는 리브플러스 부분 PC슬래브의 수평전단에 대한 설계를 위해 국내 철근콘크리트기준(한국콘크리트학회, 2007; 건교부, 1992), ACI(2002), PCI(2004; 1998), BS 8110(2002)에 규정된 기준내용을 고찰해 보고자한다. PC와 RC 부분이 맞닿는 표면에 전단 보강 철근을 이용하여 루프형이나 래티스형으로 보강한 것이기 때문에 실험을 통해 휨으로 인한 수평전단강도를 수직 접합부의 형태로 구성하여 이에 대한 거동을 실험적으로 규명하고, 수평전단강도를 평가하여 실무에 적용하는데 문제가 없는지 파악해 보고자한다.

2. 극한강도 설계법에 따른 수평전단 설계

PC 슬래브와 RC 현장 타설한 합성슬래브의 경우에 접합면의 각 요소 사이에 휨 거동으로 인한 면내 수평전단력이 완전하게 전달되기 위해서는 접촉면에서의 표면 전단마찰이나 전단 홈 또는 적절히 정착된 전단 연결재 또는 이들 모두에 의해 충분한 전단강도가 확보되어야 한다(대한건축학회, 1995).

2.1 기본 설계개념

PC슬래브 부분과 덧침콘크리트 사이의 경계면에서 수평전단은 극한하중에 대해 검토가 되며, 평균전단응력은

아래의 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\nu_{ave} = \frac{F_{nh}}{b_v l_{vh}} \quad (1)$$

여기서, ν_{ave} : 극한상태에서의 평균전단응력(N/mm²)

F_{nh} : 경계면에서 수평전단력(N)

b_v : 경계면의 폭(mm)

l_{vh} : 절대값으로 평가된 최대휨모멘트와 최소휨모멘트 발생 지점사이의 거리(mm)

휨 부재에서 평균전단응력은 휨모멘트가 0인 지점과 정모멘트 혹은 부모멘트 최대값 사이에 작용하는 수평전단력을 접촉면적으로 나누어 계산할 수 있다.

EC2(2002)와 BS 8110-1:1997(2002)는 경계면에서 전단응력이 표면거칠기, 수직력 그리고 전단연결재에 따라 계산되는 전단강도를 넘지 않게 설계하도록 규정되어 있다. 반면에 국내 콘크리트구조설계기준, ACI318-02(2002), PCI(2004)에서는 강도감소계수가 적용된 설계 전단강도가 계수전단력 이상이 되도록 규정하고 있으며, 설계전단강도는 표면거칠기, 수직방향 인장력, 전단연결재 유무에 따라 제시된 식 (2)를 통해 계산하도록 규정되어 있다.

$$V_u \leq \Phi V_{nh} \quad (2)$$

여기서, 강도감소계수는 0.75이고, V_{nh} 는 공칭수평전단강도로서 표면거칠기, 수직방향 인장력, 전단연결재 유무에 따라 달리 적용되고 있다.

Table 1 Comparison of horizontal shear strengths of various codes

Code	Surface type	f_{ck} (N/mm ²)			
		25	35	40	
KCI	Clean, free of laitance and intentionally roughened	0.56			
	Clean, free of laitance and intentionally roughened to a full amplitude of 6mm	1.80			
ACI318-02	Clean, free of laitance and intentionally roughened	0.55			
	Clean, free of laitance and intentionally roughened to a full amplitude of 1/4 in	1.80			
PCI 6th	In minimum shear rebar	0.55			
	Intentionally roughened of 1/4 in, Minimum shear rebar	1.80			
BS 8110	With nominal links projecting into in-situ concrete	As-cast or as-extruded	1.2	1.8	2.0
		Brushed, screeded or rough-tamped	1.8	2.0	2.2
		Washed to remove laitance or treated with retarder and cleaned	2.1	2.2	2.5

2.2 수평전단강도 평가

여러 기준에서 표면 거칠기와 전단 연결재에 따른 경계면의 수평전단강도를 어떻게 평가하고 있는지를 비교하기 위하여 Table 1에 정리하여 나타내었다.

ACI 기준을 기본으로 적용하고 있는 국내 콘크리트구조설계기준 및 PCI 기준은 유사하게 규정하고 있다. 이 세 기준은 경계면의 수평전단강도를 콘크리트 강도와 관계없이 평가하는 것으로 파악되었다. 또한, Gohnert(2003)의 연구에서도 콘크리트 강도를 주요 변수로 한 회귀식을 만들어 냈지만 콘크리트 강도와 경계면에서의 수평전단강도 사이의 관계식을 찾는 것은 무의미하다고 밝힐 정도로 콘크리트의 강도는 수평전단 강도에 영향이 크지 않는 것으로 결론지었다. 이 세 기준에서는 전단연결재가 있는 경우와 전단연결재가 없이 거친 면처리만 해도 되는 경우에 동일한 수평전단강도를 갖는 것으로 평가하고 있으나, 실제 구조적 거동은 다를 것으로 생각된다. 이에 표면 거친 처리가 없고, 전단연결재가 있는 경계면에 대한 수평전단강도에 대한 거동을 실험적으로 관찰하고 평가하여 설계 반영 가능성을 평가하고자 한다.

BS 8110(2002)에서 표면의 거칠기 조건에 대해 경계면에서의 수평전단강도는 콘크리트 강도를 반영하여 평가하고 있는데 이것은 콘크리트 인장강도 5% 값을 기초로 고려하고 있기 때문이다. 또한, BS 8110(2002)은 Table 1에 제시된 수평전단강도가 부족한 경우 추가의 전단연결재량을 계산할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

2.3 전단마찰설계

각국의 기준 및 국내의 철근콘크리트구조설계 기준에서

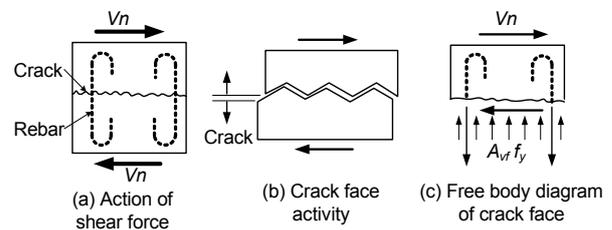


Fig. 3 Design concept for shear friction

는 특히, 고려하는 단면에서 계수전단력 V_u 가 $\Phi(3.5b_v d)$ 를 초과하는 경우, 수평전단력에 대한 설계는 일반 철근콘크리트 전단마찰 설계규정을 적용할 수 있다. 철근콘크리트설계기준 상의 면내 수평전단강도 및 전단 흠이 없이 보강된 접합면의 전단마찰 설계개념에 의해 구한 내력값과 실험값의 상대적 비교를 통하여 안전 여부를 검토하고자 한다. 아래에는 전단마찰 설계개념과 설계 방법을 정리하였다. Fig. 3에서 전단력 V_n 이 작용하면, 균열이 발생하여 상하 두 부분으로 분리되려고 할 것이다. 이때 철근에는 인장응력이 작용하게 되고, 전단파괴를 일으키는 시점에서는 항복강도 f_y 에 도달하게 된다. 이 인장력은 균열면의 콘크리트에 크기가 같고 방향이 반대인 압력으로 작용하게 된다. Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 그 압축력의 크기는 $A_{vf}f_y$ 이다. 여기서, A_{vf} 는 균열을 가로 지르는 철근의 단면적이다. 따라서 수평적 활동에 저항하는 힘은 식 (3)과 같다.

$$V_n = \mu A_{vf} f_y \quad (3)$$

여기서, μ 는 마찰계수(표면을 거칠게 한 경우: 1.0, 표면을 거칠게 하지 않은 경우: 0.6)

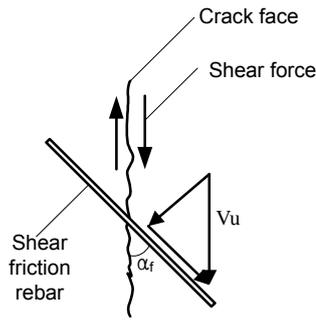


Fig. 4 shear friction reinforcement with the angle

만약, Fig. 4에 보는바와 같이 전단마찰 철근이 전단면과 경사를 이루어지면 작용 전단력에 의해 전단 전단마찰 철근에 인장력이 일어날 때에 전단강도는 식 (4)에 의해 산정하여야 한다.

$$V_n = A_{vf} f_y (\mu \sin \alpha_f + \cos \alpha_f) \quad (4)$$

3. 수평전단강도 실험

3.1 실험체 개요

리브플러스 PC슬래브와 덧침콘크리트 사이의 전단강도를 평가하기 위해 리브와 리브 사이를 경량소재로 채운

후 덧침콘크리트를 타설하는 경우로 한정하였다. 따라서 경량소재로 리브 사이를 채우는 경우 수평전단강도는 리브의 상부 표면만을 고려하면 가능하기 때문에 실험에 사용할 단면은 리브 상부면과 전단연결재의 배근 형상이 주요한 변수이다.

PC슬래브와 덧침콘크리트간의 접촉면에서 전단연결재의 보강으로 인한 수평전단강도 성능을 확인하고 평가하기 위하여 실험실 여건과 실험의 용이성 등을 고려하여 PC 바닥판을 구성하는 길이방향의 리브 하나에 대해 모델링하여 제작하였다.

리브플러스 PC 합성슬래브의 접촉면에서의 수평전단강도를 확보하기 위한 일환으로 HD10 철근을 이용한 루프형의 전단연결재 형태로 설계된 초기 형상과 이후 PC슬래브의 공장 생산성 효율을 높이기 위한 목적으로 개선된 래티스형 전단연결재 형상을 대상으로 보강근 간격 등을 고려하여 총 4개의 실험체를 제작하여 푸시아웃(push-out) 실험을 수행하였다. 실험체의 높이와 길이는 실험체의 운반과 실험실의 조건 및 실험장비의 용량 등을 고려하여 결정하였다.

주요변수별 수평전단강도 실험체 일람은 Table 1에 정리하여 나타냈으며, 접합면 전단연결재 형상에 따른 실험체 형상을 Fig. 5에 나타내었다.

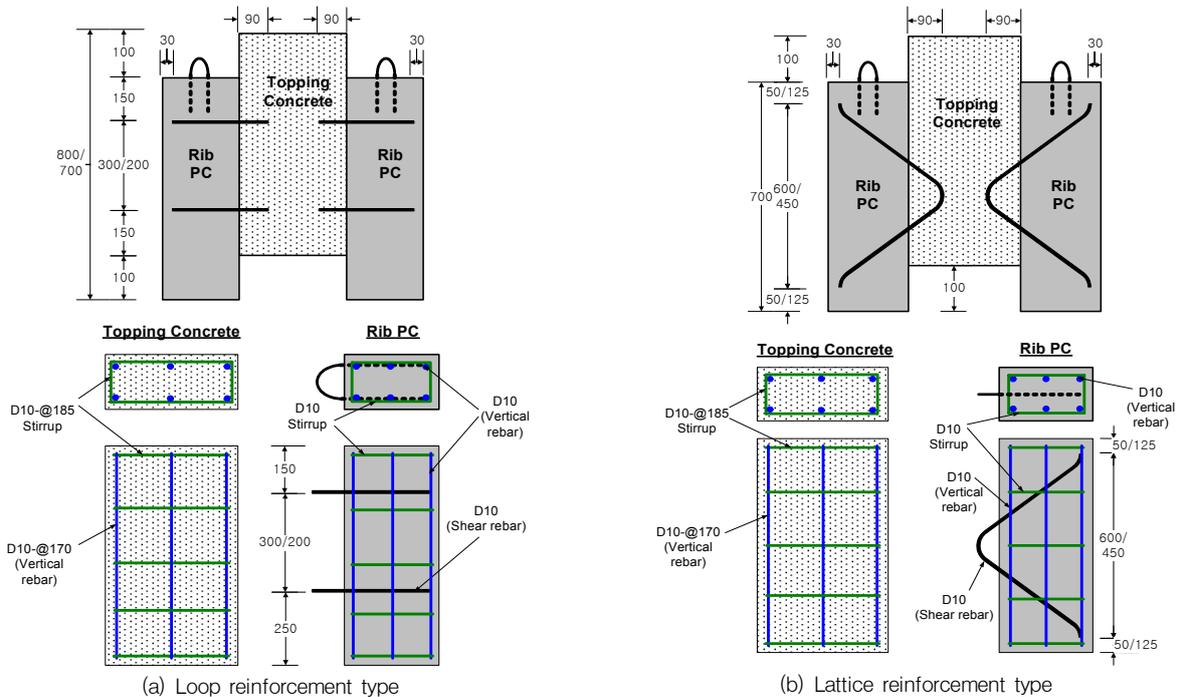
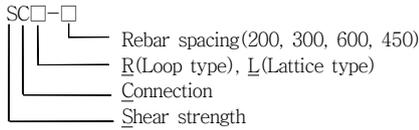


Fig. 5 Detail of Specimen

Table 2 Test list for Horizontal shear strength

Specimen index	Thickness (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Nominal strength (MPa)		Number of reinforcement	Shape of reinforcement	Length of reinforcement (mm)
				PC	RC			
SCR-1	150	150	600	40	27	2	Loop	200
SCR-2	150	150	600	40	27	2		300
SCL-1	150	150	600	40	27	1	Lattice	600
SCL-2	150	150	600	40	27	1		450



3.2 실험 및 측정방법

리브플러스 PC합성슬래브의 접촉면의 수평전단강도 성능 실험에서 하중 가력은 변위제어방식으로 0.015mm/sec의 속도로 상당히 느리게 가력하였다. 가력장치는 같이 2000kN 용량의 UTM(Universal Test Machine)를 사용하여 가력하였다.

실험방법은 접촉면에서 수평전단강도를 측정하는 방법 중에서 가장 많이 사용하는 압박형으로서 실험체 설치 및 가력 방법은 Fig. 6과 같으며, 가력은 좌우 접합부에서 균등한 전단력이 실험체의 접합부로 전달되도록 수평을 유지하였다. 실험체의 하부 양단에는 단부의 구속력을 최소화하였고, 실험체가 수평방향으로 벌어지는 것을 방지하기 위해 탄성 고무판을 설치하여 실험체가 벌어지는 것을 완충시키면서 힘을 흡수하도록 하였다.

PC슬래브와 현장타설 슬래브의 접합면에서 중력방향으로 미끄러지는 상대 수직변위를 측정하기 위해서 실험체 전후면 상하부에서 수직방향 변위계(50mm, LVDT)



Fig. 6 Test setup

를 엇갈리게 각각 2개씩 설치하여 상대 수직변위를 측정하였다.

3.3 재료시험

3.3.1 강재 인장강도 시험

실험에 사용된 철근은 리브플러스 PC슬래브에서 전단 연결재로 SD40 HD10을 사용하였으며, 철근의 인장강도 시험은 KS D 0801 2호에 따라 시험편을 제작하고 KS B 0802의 금속재료 시험방법에 따라 시험하였다. 전단연결재로 사용된 철근의 항복강도, 항복비, 탄성계수 및 연신율 등의 결과를 Table 3에 정리하였다.

3.3.2 콘크리트 압축강도시험

리브플러스 PC슬래브의 수평전단성능 실험체 제작에 사용된 콘크리트 설계기준강도는 PC슬래브가 40MPa로 계획하였으며, 합성용 덧침콘크리트는 설계기준강도는 27MPa로 계획하였다. 압축강도 시험용 공시체는 KS F 2404에 따라 제작하였으며, 실험체 제작에 투입된 레미콘의 수에 따라 각각 3개씩 총 12개의 실험체를 제작하였다. 콘크리트의 압축강도가 수평전단강도에 미치는 영향은 작다는 기존 연구결과에 비추어 압축강도시험이 큰 의미를 갖지 않기 때문에 재령 28일 압축강도만 확인하였다. 이상과 같이 수행한 콘크리트 압축강도 시험결과를 Table 4에 정리하였다.

Table 3 Mechanical properties of Re-bar

Index	Yield Stress (MPa)	Yield strain ($\times 10^{-6}$)	Tensile stress (MPa)	Yield Ratio	Elongation (%)
D10	402	2118	521	0.77	20.77

Table 4 Test result of concrete compressive strength

Region	Nominal strength (MPa)	Average compressive strength (MPa)	Slump (mm)
PC	40	44.5	105
RC	27	34.2	120

Table 5 Test result

Specimen index	Shear area (mm ²)	P _c (kN)	P _{max} (kN)	δ _i (mm)	δ _{max} (mm)	K _i (kN/mm)	Failure mode	
SCR	1	568	289	318	0.69	1.34	419	M1
	2	568	362	426	0.37	0.89	978	M1
SCL	1	284	296	308	0.47	0.60	630	M2
	2	284	191	202	0.69	1.60	276	M2

P_c : Crack load, P_{max} : Maximum load, δ_i : Deflection at cracking load, δ_{max} : Deflection at Maximum load, K_i : Initial stiffness

3.4 실험 결과

수평전단강도를 평가하기 위해 수행한 푸시아웃 실험을 통하여 나타난 각 실험체의 결과를 Table 5에 정리하였다.

전반적인 균열 및 파괴상황은 기존연구(대한주택공사, 1996; 신성우외, 1994)와 유사하게 현장타설 슬래브와 완전 PC슬래브가 접합된 곳에서 부착면의 파괴로 인한 수직방향 미끄러짐이 발생하면서 접합부가 1차적으로 파괴되기 시작하고, 그 이후에 접합부 및 보강근 위치에 초기균열이 발생하였다. 부착면의 파괴로 인한 수직변위는 육안으로는 거의 확인할 수는 없었지만, 그 이후의 초기 균열은 육안으로 식별이 가능하기 때문에 이때의 하중을 초기 균열하중으로 결정하였다.

3.4.1 파괴모드-1

하중이 증가하면서 수직방향 변위가 점진적으로 증가하고 동시에 부착면의 파괴이후 전단연결 보강근의 저항으로 수직방향 변위보다는 상당히 적지만 수평방향 변위가 서서히 나타나기 시작하였다. 수평전단 보강근이 루프형상인 SCR계열 실험체에서는 전단 보강근 간격과 관계없이 최대하중에 이르기 전에 지지하는 PC슬래브의 지점 하단부에 접합부 균열과 동시에 접합면에서의 수직균열을 관찰할 수 있었으며, 이후 하중이 미소하게 감소하면서 변형의 증가로 루프형상의 보강근 위치가 가력 점에서 가장 가까운 곳에서 균열이 시작하였고, 그 이후에 강재의 변형경화 현상과 같이 내력은 다시 완만히 상승하고

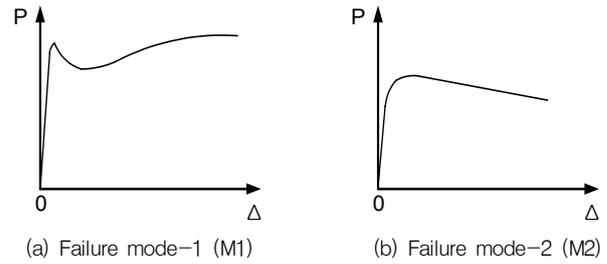


Fig. 7 Relationship of load-deflection for Failure mode

변위는 급격히 증가하는 양상을 나타내고 있다. 하중과 변형이 미소하게 증가하면서 점차 모든 루프형 보강근 배근 위치로 균열이 확대되었다. 보강근 간격이 작은 실험체에서는 접합면의 응력집중으로 인해 벌어짐 현상이 보이며 강성 및 내력이 저하하는 경향을 보였다.

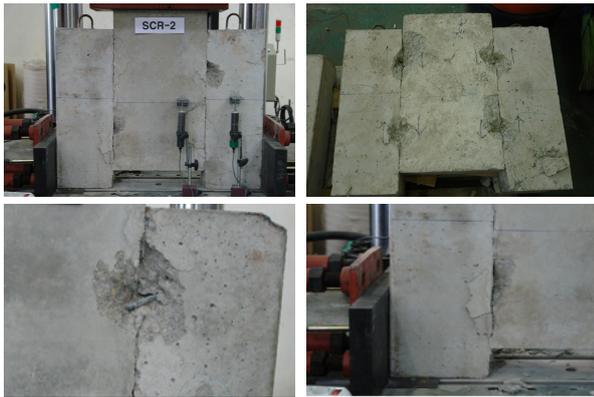
3.4.2 파괴모드-2

접합면을 거칠게 하지 않고, 수평전단 보강근이 래티스형상인 SCL계열 실험체에서는 보강근 간격과 관계없이 최대하중에 이르기 전에 지지하는 PC슬래브의 지점 하단부에 접합부 균열과 동시에 접합면에서의 수직균열을 관찰할 수 있었으며, 초기균열이 발생한 이후 하중이 미소하게 감소하면서 변형량의 증가로 래티스형상의 보강근 배근 위치에서 가력점과 가장 가까운 위치에서 균열의 시작과 동시에 접합면의 벌어짐 현상을 볼 수 있었다. 최대하중은 루프형 실험체보다 약 1/3정도로 저하하지만, 최대하중 이후 하중은 감소하고 변형이 지속적으로 감소하면서 점차 모든 래티스형상의 보강근 위치로 균열이 확대되었다. 보강근 간격이 작은 실험체에서는 보강근의 단면적의 감소로 접합부의 내력 및 강성이 저하는 것을 알 수 있었다. 접합면의 수평 전단강도를 평가하기 위한 실험체의 최종 파괴모드별 하중-변위 관계 곡선을 Fig. 7에 나타내었다.

4. 리브플러스 PC슬래브의 수평전단 거동 고찰

4.1 하중-변위(P-δ_v) 관계

리브플러스 PC슬래브의 수평전단강도 실험체의 하중과 변위에 관한 곡선을 Fig. 9에 나타내었다. 접합부의 수직변위를 측정하기 위해서 설치한 변위계의 측정결과와 접합면의 균열 및 벌어짐 상태를 살펴보면, 수직방향의 변위가 수평방향의 변위보다 선행하는 것을 알 수 있다.

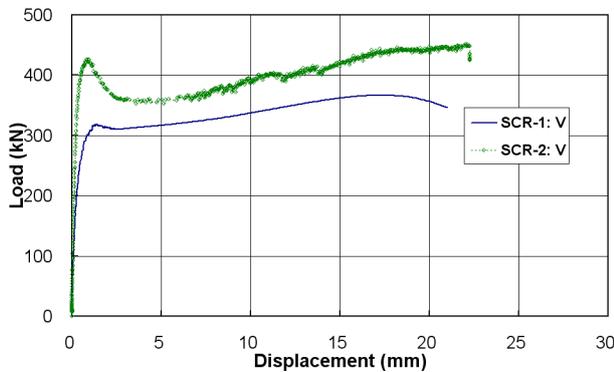


(a) Failure shape of specimen (SCR series)

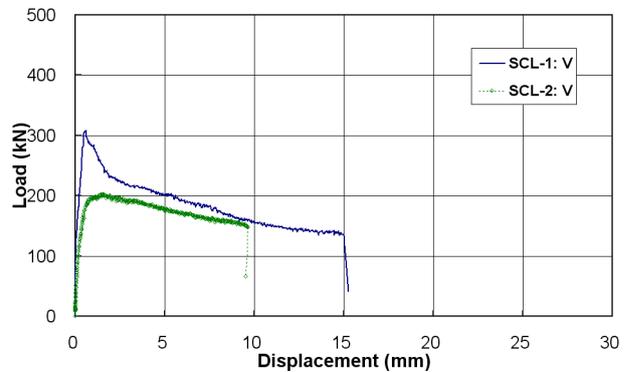


(b) Failure shape of specimen (SCL series)

Fig. 8 Fracture Photo of specimen



(a) SCR specimen (Loop reinforcement type)



(b) SCL specimen (Lattice reinforcement type)

Fig. 9 Relationship of load-vertical deflection

따라서 수평전단강도 실험체의 내력은 수직방향 변위로 부터 결정됨을 확인할 수 있었다. 또한, 수평방향 변위는 최대내력 및 파괴까지의 실험체 거동을 확인하는데 참고 자료로 활용하였다.

Fig. 8(a)과 Fig. 9(a)에서 보는바와 같이 PC 부재의 슬래브 접합면에 전단기 없이 루프형태의 보강근이 돌출 되어 있는 실험체인 SCR계열의 실험결과로서 보강근의 간격과 관계없이 실험체의 거동은 초기균열이 발생한 이후 항복에 이를 때까지도 수직방향 변위는 아주 미소하게 변화하는 것을 알 수 있다. 최대하중에 도달하면 실험체의 접합부는 갑자기 파괴되면서 변위와 내력이 급격히 감소하고, 그 이후에 내력은 서서히 증가하고 변위량은 급격히 증가하는 양상을 보인다. 이는 접합면의 부차력과 철근의 항복이 발생한 이후 수평전단강도는 보강한 루프 형태의 철근과 콘크리트의 합성효과가 발휘하면서 이러한 거동을 보이는 것으로 판단되며, 보강근 간격이 작은

실험체에서는 이러한 합성효과가 크지 않은 것으로 생각 된다.

Fig. 8(b)과 Fig. 9(b)에서 보는바와 같이 PC 부재의 슬래브 접합면에 전단기 없이 래티스형의 보강근이 돌출 되어 있는 실험체인 SCL계열의 실험결과로서 보강근 간격과 관계없이 실험체의 거동은 최대하중에 이를 때까지 SCR계열 실험체의 거동과 거의 유사하지만, 최대하중 이후의 내력의 감소율이 작거나 항복현상 이후 접합면의 내력이 계속적으로 완만히 감소하는 경향을 보였다.

4.2 전단연결재 형상에 따른 비교

Table 5에는 PC 합성슬래브 접합면의 수평전단강도 실험결과를 수록한 것으로 접합면에서의 수평전단강도 실험체는 보강근 형상에 따라 루프형과 래티스형으로 구분하였는데 Table 5에서 알 수 있듯이 루프형이 래티스형 실험체에 비해 평균 초기균열하중, 평균 최대전단력,

Table 6 Comparison of experimental data with theoretical values

Item	Test value ($V_{max}/2$)	A_{vf} (mm)	l_{vh} (mm)	Friction factor (μ)	Angle (αf)	Horizontal shear (kN)	Friction shear (kN)	Test/Theory	
								Horizontal shear	Friction shear
SCR-1	159	285	600	0.60	-	50.4	68.5	3.15	2.32
SCR-2	213	285	600	0.60	-	50.4	68.5	4.23	3.11
SCL-1	154	143	600	0.60	46	50.4	64.3	3.06	2.40
SCL-2	101	143	600	0.60	54	50.4	61.2	2.00	1.65
Avg ¹⁾								3.69	2.72
COV ¹⁾								0.205	0.205
Avg ²⁾								2.53	2.02
COV ²⁾								0.294	0.261

1) Average and Coefficient of variation for SCR specimens
 2) Average and Coefficient of variation for SCL specimens

접합면의 평균 초기강성 측면에서 각각 33.7%, 45.9%와 55.2%정도 큰 것으로 나타났다. 이는 PC 합성슬래브 접합면에서의 전단연결재 형상이 상이하여 결국 접합면의 전단연결재 개수가 루프형이 두 배 더 배근되지만 실험결과에 의하면 전단내력과 초기강성 측면에서는 정량적으로 두 배 이상의 결과는 나타나지 않았다. 이러한 현상은 접합면의 전단연결재 배치형상에 따른 거동 차이로 인한 것으로 생각할 수 있다. 하지만, 접합면의 설계강도를 만족시키고 있고 래티스형의 전단연결재를 갖는 형상이 간격이 크면서 철근량이 작기 때문에 경제성 측면뿐만 아니라 PC슬래브 제작성 측면에서도 우수하다고 평가할 수 있을 것이다.

그러나 폭이 크면서 장스팬인 이러한 리브플러스 PC슬래브에 대하여 제작성 및 경제성을 보다 증가시키기 위해서는 향후, 전단연결재를 배제시켜 접합면의 수평전단 강도를 확보할 수 있는 접합면의 형상 개선 등의 추가 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

4.3 기존 전단강도 평가식과의 비교

PC슬래브와 콘크리트를 현장 타설한 합성슬래브의 경우에 접합면의 각 요소 사이에 휨 거동으로 인해 면내 수평전단력이 완전하게 전달되기 위해서는 접촉면에서의 표면 전단마찰이나 전단 홈 또는 적절히 정착된 전단연결재 또는 이들 모두에 의해 충분한 전단강도가 확보되어야 한다. 철근콘크리트구조설계기준 상에서 부재의 면내 수평전단에 대한 설계는 식 (1), (2)을 적용하도록 규정하고 있다.

특히, 고려하는 단면에서 계수전단력(V_u)가 $\Phi(3.5b_v d)$

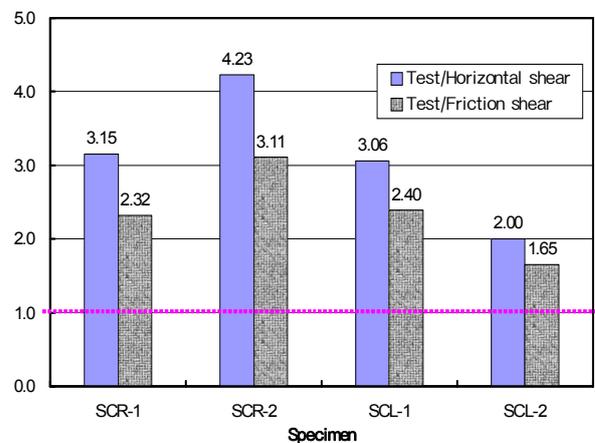


Fig. 10 Comparison of theoretical values and experimental data curve

를 초과하는 경우, 수평전단력에 대한 설계는 일반 철근 콘크리트 전단마찰 설계규정을 적용할 수 있다. 철근콘크리트설계기준 상의 면내 수평 전단내력 및 전단 홈이 없이 보강된 접합면의 전단마찰 설계개념에 의해 구한 내력 값과 실험값의 상대적 비교를 통하여 안전 여부를 검토하고자 한다. 전단마찰에 대한 설계는 앞 절에서 기술한 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 설계에 반영한다.

Table 6에는 실험결과와 설계기준상의 수평전단 내력식을 비교한 것으로 비교시 사용한 전단 내력식은 면내 수평전단 설계식과 마찰전단설계에 의한 전단 내력식이다. Table 6과 Fig. 10에서 알 수 있듯이 실험값이 현행의 설계기준에 의한 전단 내력식을 이용하여 비교한 결과, 루프형 전단보강 실험체는 2.32~4.23배 상회하고 있으며 래티스형 전단보강 실험체는 1.65~3.06배 상회하는 것으로 평가되었다. 이에 본 연구에서 수행한 리브

플러스 PC슬래브의 접촉면에서 수평전단강도는 높게 나타나 전단 연결부의 접합면에 대해 현행 설계기준의 전단 내력식을 이용하여 안전측으로 설계반영이 가능한 것으로 판단된다.

5. 결론

PC 합성슬래브의 PC와 RC 부분이 만나는 접합면에 대한 수평전단강도 실험을 통해서 얻은 결론은 아래와 같다.

- (1) 리브플러스 PC 합성슬래브 접합면의 균열 및 벌어짐 상태를 고찰한 결과, 수직방향의 변위가 수평방향의 변위 보다 선행하는 것으로 나타나 전단 연결보강된 접합면에서의 내력은 수직방향 변형에 의해 지배됨을 알 수 있다.
- (2) 접합면에서 보강근 형상에 따른 비교 결과, 루프형의 실험체가 평균 초기균열하중, 평균 최대하중 및 접합면의 평균 초기강성 측면에서 각각 33.7%, 45.9%와 55.2%정도 큰 것으로 나타났다.
- (3) PC 부분과 RC 부분이 합성된 리브플러스 PC 슬래브는 현행의 철근콘크리트 전단내력 평가식 및 국내 PC 기준에 의하여 평가한 결과, 루프형 전단보강 실험체는 2.32~4.23배, 래티스형 전단보강 실험체는 1.65~3.06배 상회하는 것으로 나타나 안전측으로 평가가 가능한 것으로 생각된다.
- (4) 특히 전단보강 철근량이 작은 래티스형 실험체의 경우, 접합면의 거동이나 설계기준에 의한 내력도 안전측으로 평가되어 현장에 적용하는데 별다른 문제는 없는 것을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부가 출연하고, 한국건설기술 연구원이 주요사업 과제로 수행한 결과의 일부로 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건교부, "프리캐스트 콘크리트 조립식건축 구조설계기준 및 해설", 1992.
2. 건교부, "극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설", 대한건축학회, 1995.
3. 대한주택공사 주택연구소, "요철형 만두계 슬래브를 갖는 합성바닥구조 설계지침", 1996.
4. 주택도시연구원, "지하주차장의 PC공법 적용을 위한 접합부 구조 성능 실험 연구", 대한주택공사 주택도시연구원, 2008.
5. 신성우 외 4인, "부분 PC 슬래브의 면내전단내력에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제14권 제1호, 1994, pp.417-420.
6. 한국건설기술연구원, "초고층 건물 바닥판 구조의 조립화에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1992.
7. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준 해설", 한국콘크리트학회, 2007.
8. ACI, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-02)", American Concrete Institute, 2002.
9. BSI, BS 8110-1:1997, structural use of concrete, British Standards Institute, 2002.
10. CEN, Eurocode 2 prEN 1992-1-1, Design of concrete structures, European Committee for Standardization, 2002.
11. Mitchell Gohnert, Horizontal shear transfer across a roughened surface, Cement & Concrete Composites, Volume 25, Issue 3, 2003, pp.379-385.
12. PCI, "PCI Design Handbook(Precast and Prestressed Concrete)", Precast/Prestressed Concrete Institute, 2004.
13. PCI, "Manual for The Design of Hollow Core Slabs", Precast/Prestressed Concrete Institute, 1998.

(접수일자 : 2011년 4월 28일)

(수정일자 : 2011년 8월 16일)

(심사완료일자 : 2011년 8월 22일)

요 지

본 연구는 PC와 RC부분이 만나는 접합면에 대한 구조적 거동과 수평 전단강도 평가를 위한 실험적 연구이다. 접합면에서의 수평전단 내력은 접합면의 거칠기나 전단보강근 유무에 따라 결정되어진다. 본 연구에서는 전단 보강근의 형상이 루프형과 래티스형로 구분하고, 보강근 간격 등에 따라 총 4개의 수평전단강도 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 실험결과, 접합면에서 수평전단 강도는 수직방향 변형에 의해 지배됨을 알 수 있었다. 보강근 형상에 따른 비교 결과, 루프형의 실험체가 평균 초기균열하중, 평균 최대하중 및 접합면의 평균 초기강성 측면에서 각각 33.7%, 45.9%와 55.2%정도 큰 것으로 나타났다. 현행의 국내 전단강도 평가식과 비교한 결과, 루프형 전단보강 실험체는 2.32~4.23배, 래티스형 전단보강 실험체는 1.65~3.06배 상회하는 것으로 나타났다. 따라서 접합면의 거동이나 구조설계기준에 의한 내력이 안전측으로 평가되어 현장에 적용하는 데에는 별다른 문제는 없는 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 접합면, 수평전단, PC슬래브, 루프형, 래티스형