

반두께 P.C. 슬래브의 면내전단내력에 관한 연구

Interface Shear Strength in Half Precast Concrete Slab

이광수*

김대근**

최종수***

신성우****

Lee, Kwang Soo Kim, Dai Keun Choi, Jong Soo Shin, Sung Woo

요 약

반두께 P.C. 슬래브는 슬래브의 일부분(하부)을 프리캐스트로 제작하고 상부에 현장 콘크리트를 타설하는 공법으로서 반두께 슬래브가 휨변형을 일으킬 때 접합면사이에서는 수평전단력이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 수평전단력에 저항하기 위한 방법으로 스크래치 방법을 도입하였다. 주요 변수로서는 상부콘크리트의 압축강도, 전단철근의 유무, 콘크리트 표면거칠기, 그리고 용접철망과 전단철근의 결합유무 등으로 되어 있다. 모든 실험체의 접합면의 면적(A_c)은 $3,200 \text{ cm}^2$ 으로 동일하다.

실험 결과, 콘크리트 표면처리 깊이가 증가할수록 전단강도는 증가하였으며 전단철근이 없이 표면거칠기만에 의해 수평전단강도를 확보할 수 있었다. 콘크리트의 압축강도가 증가함에 따라 수평전단강도는 증가하였다. 또한 전단강도를 예측하기 위한 전단계수 결정식을 도출하였다.

Abstract

Half-P.C. slab system is the composite structural system which utilizes precast concrete for lower portion and cast in situ concrete for upper portion slab. When the composite slab using Half P.C. slab is deformed by flexural moment, horizontal shear happened at the interface between Half P.C. slab and topping concrete. To resist horizontal shear strength a scratch method has tried. To determine ultimate interface shear strength, shear stress, and shear coefficient, high and normal strength concrete are used for topping concrete. Major variables are compressive strength of topping concrete with or without shear reinforcement, quantitative roughness of the P.C. surface and tie or untie of the stud with welded deformed wire fabric in the P.C. member. The cross sectional area on joints is $3,200 \text{ cm}^2$ in all specimens.

Test results showed that shear stress increased, as the depth of the quantitative roughness increased. The horizontal shear strength could be resisted with safe by the quantitative roughness without shear tie. A shear coefficient determinant equation is proposed such that $K = 0.025918 + 0.0068894 \cdot R - 0.000182354 \cdot R^2$

Keywords : haif P.C. slab, horizontal shear, shear coefficient, scratch, quantitative roughness normal and high strength concrete, welded deformed wire fabric,

* 정희원, 여주전문대학 건축과 전임강사
** 현대건설 종합건축설계실
*** 한양대 대학원 석사과정
**** 정희원, 한양대학교 건축공학과 부교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 1994년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

합성구조 시스템은 건축물과 교량에서 그 형태에 따라 매우 다양하게 사용되었으며 점차 사용성이 확대되어 가고 있다. 반두께 P.C. 슬래브 공법은 합성구조 시스템의 하나로서 슬래브의 일부분을 프리캐스트 콘크리트 부재로 제작, 현장에 설치하고 그 상부에 콘크리트(topping concrete)를 타설하여 구조체를 구성하게 된다. 이렇게 이루어진 합성 슬래브가 휨변형을 함에 따라서 반두께 P.C. 슬래브와 상부콘크리트 사이에는 수평전단력이 작용하게 되며, 이러한 수평전단력에 의해 부재가 파괴될 경우 합성부재는 일반 철근콘크리트 슬래브에 비해 매우 적은 하중을 부담하게 된다. 따라서 이러한 수평전단력에 대한 저항을 하기 위하여 각각의 반두께 P.C. 공법의 특성을 지니게 되며, 일반적으로 전단키(shear tie)나 전단요철(shear cotter) 방식을 사용하고 있다. 이러한 합성 슬래브에서의 수평전단강도는 주로 전단전달 연결근(shear transfer connector)의 다우엘 작용(dawel action)과 타설면에서의 콘크리트의 부착강도(bond strength)에 좌우된다.

ACI 318-92(Revised) Code⁽¹⁾에서는 합성부재에서 상호연결된 요소들의 접촉면에서 수평전단력의 완전한 전달이 보장되도록 해야한다고 규정하고 있다. 또한, 수평전단력에 저항하기 위한 것으로서는 접촉면의 표면상태에 따른 구분과 전단철근의 사용여부를 크게 구분하고 있으나 전단철근을 사용하지 않는 부재에 관해서는 정확한 계산식을 바탕으로 하고 있는 것이 아니라 인위적인 거친 마감을 한 경우에 대해 상한값만으로 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 제한하고 있다. 따라서 전단 철근을 사용하지 않는 부재에 있어서 보다 정량적인 수평전단 강도를 예측하기는 매우 어려운 상황이다. 또한 전단철근을 설치하고 표면을 5mm 이상 거칠게 처리한 경우에 대한 상한값으로 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 규정하고 그 이상인 경우에는 단지 철근에 의해 전단강도를 계산하도록 되어 있어 콘크리트의 표면에 따른 접합면의 강도 예측이 어려운 실정이다.

국내에서도 반두께 P.C. 슬래브의 이러한 문제

점을 보완하기 위해서 실험적 연구가 일부 진행완료되었으나^(2,3) 표면처리 방법중에서 비교적 경제적이며 간편하고, 또한 현장에서 제작이 가능한 방법인 스크래치(정량적 크기)에 관한 내용은 미비한 실정이다. 본 연구는 반두께 P.C. 슬래브와 상부콘크리트 사이에서 발생하는 전단력에 저항하기 위한 방안으로 반두께 슬래브 표면을 인위적이고 정량적인 거칠기(0, 5, 7, 10mm)를 갖는 실험체에 대한 실험을 통하여 면내전단력을 예측할 수 있도록 하고자 한다.

2. 합성부재 접합면에서의 전단전달

이질재료 및 동일재료를 사용한 합성부재의 거동은 부재 연결부위 및 부재 자체에서 전단에 대한 저항을 동시에 하고 있다. 철근 콘크리트 부재는 철근과 콘크리트사이의 부착력과 재료의 특성에 의해 지배된다. 반두께 P.C. 슬래브는 P.C. 부재와 현장타설 콘크리트 접합면의 부착 및 마찰력 또는 전단철근에 의해 전단전달을 하게 되는데 단순 과하중이나 반복하중을 부재에 가하게 되면 부재사이의 부착력 상실로 인하여 부재는 분리, 파괴된다. 결국, 접합부의 전단전달을 어떻게 처리할 것인가가 합성구조에서는 중요하게 다루어진다. 이를 위해서 다음과 같은 조건을 만족하도록 한다.

- 1) 접합면에서 발생하는 슬립(slip)을 제한하여 구조부재가 단일체로 작용하도록 한다.
- 2) 수평전단력에 의한 파괴로 부재내력이 결정되지 않도록 한다.

3. 실험체 제작

3.1 실험체의 일반적 사항

본 연구의 목적을 수행하기 위하여 증기 양생된 P.C. 부재를 압축강도 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 탈형하였으며 상부 콘크리트를 타설하기 위해 P.C. 판과 거푸집을 조립하여 총 18개의 실험체를 제작하였다. P.C. 판 실험체의 크기는 중앙부 상부콘크리트와 측면 P.C.와의 부착 면적이 $40 \times 40\text{cm}^2$ 으로

서 양측 면적이 3,200 cm²이 되도록 계획하였다. 중앙부 상부콘크리트의 부재는 40×60cm, 부재 두께가 20cm이고 측면 P.C. 부재의 단면은 56×60 cm², 두께는 각각 15cm로 하였다. 실험체 제작 과정은 부재 변형을 방지하기 위하여 P.C.에 직경

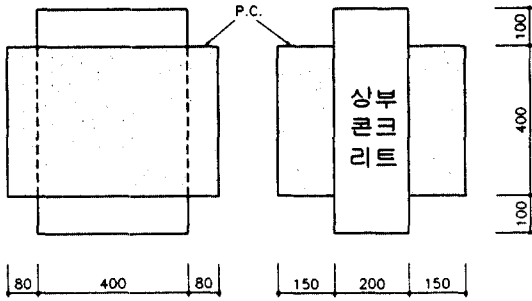


Fig. 1 Details of specimens

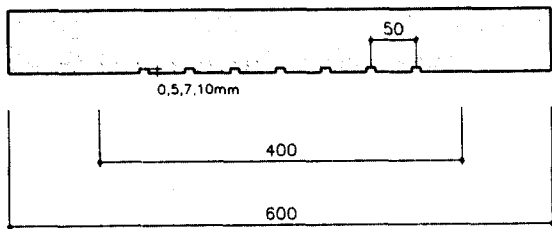


Fig. 2 Details of scratching on the P.C.

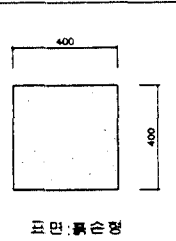
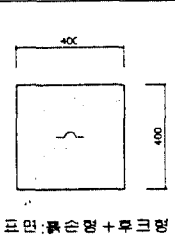
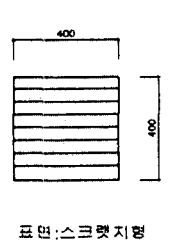
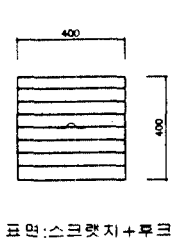
구분	표면마감형상	구분	표면마감형상
E T Y P E		EW H T Y P E	
R T Y P E		RH T Y P E	

Fig. 3 Scratching types on P.C. joints

Table 1 Properties of specimens

Specimen	f _c (kg/cm ²)		Bond Area (cm ²)	Shear reinforcement	Roughness (mm)	Welded wire
	P.C.	T.C.				
SH E	359	323	3,200	none	0	none
SH GH	359	323	3,200	○	--	none
SH EH	359	323	3,200	○	0	none
SH EWH	359	323	3,200	○	0	○
SH R5	359	323	3,200	○	5	none
SH R7	359	323	3,200	none	7	none
SH R10	359	323	3,200	none	10	none
SH R5H	359	323	3,200	○	5	none
SH R7H	359	323	3,200	○	7	none
SNE	359	234	3,200	none	0	none
SN GH	359	234	3,200	○	--	none
SNEH	359	234	3,200	○	0	none
SNEWH	359	234	3,200	○	0	○
SN R5	359	234	3,200	none	5	none
SN R7	359	234	3,200	none	7	none
SN R10	359	234	3,200	none	10	none
SN R5H	359	234	3,200	○	5	none
SN R7H	359	234	3,200	○	7	none

• T.C. : Topping Concrete

실험체 SH-R7H는 다음을 의미한다.

S : Horizontal Shear Strength

H : High Strength Concrete

(N) : Normal Strength Concrete

R : Roughness


(E) : 흠손인 경우

7 : 표면기질기 깊이 7mm

H : 전단연결근이 있는 경우

(WH) : 용접철망과 연결근 결합형인 경우

22mm의 슬리브를 만든 후 1차 타설하였으며 P.C. 부재 성형후 18mm 강봉을 관통시켜 볼트 조립한 후, 2차 상부 콘크리트를 타설하였다. 전 실험체가 동일한 크기를 가지며, 실험체 상세는 그림 2에 그의 특성은 표 1에, P.C.부재의 스크래칭 단면은 그림 2, 그리고 P.C. 마감상세는 그림 3에 나타나 있다. 스크래치 작업을 위하여 미리 깊이 변수에 따라 각각 수동용 스크래치 기계를 제작하여 콘크리트면에 스크래치 작업을 하였다.

이상과 같은 실험체 선정 및 실험체명에 따른 주요변수는 상부 콘크리트의 압축강도, 표면의 마감형태,  형태를 갖는 전단 연결근(1개 설치)과 용접철망과의 결합 유무로 하여 총 18개의 실험체를 제작하여 각 실험변수에 따른 실험체

의 기능을 관찰하였다.

3.2 사용재료, 배합 및 양생조건

실험체 제작에 사용된 시멘트는 S사 1종 포틀랜드 시멘트이며 세굴재는 강모래를, 조감재는 프리캐스트 관넛의 경우 최대크기 13mm, 상부콘크리트는 25mm의 채석을 사용하였다. 현장실험체 타설전에 시험배합을 통하여 증기양생 조건을 온도 60℃, 습도 80%인 항온 항습조에서 증기 양생을 통한 최적 배합비를 도출하여 현장적용하였다. 연결근 결합형 실험체에 사용된 연결근은 SD-40 ($f_y=4,000 \text{ kg/cm}^2$) D10 이형철근을 사용하였으며 용접철망 결합형 실험체에 사용된 용접철망은 H사 W-8, 망눈간격(150×150mm), 항복강도 4,600 kg/cm^2 (변형율 : 0.35%)을 사용하였다. 콘크리트 타설은 레미콘을 이용하였으며 1차 P.C.는 탄형강도 140 kg/cm^2 를 만족한 후, 2차 상부콘크리트를 배합설계강도 210 kg/cm^2 과 300 kg/cm^2 로 나누어 타설하였다. P.C.판 양생조건은 온도 50℃, 습도 80%로 하였으며, 상부 콘크리트를 타설한 후에는 자연양생을 하였다. 콘크리트 타설과 동시에 강도에 따라 KS F 2402에 따른 슬럼프 시험을 실시한 후, 압축강도 측정을 위한 공시체를 제작하였다.

3.3 콘크리트 압축강도 시험

압축강도시험은 재령에 따라 1일, 7일, 28일간 양생하였으며 각각의 공시체 압축강도시험의 사용기기는 100-ton 용량의 U.T.M으로 측정하였다. 압축강도 측정시 편심을 방지하고 고른 응력

Table 2 Test results of cylinder(kg/cm^2)

Con'c Age	P. C. (trial)	P. C. member	Topping Concrete	
			High	Normal
1	238	145	110	79
7	265	309	279	175
28	326	359	323	234
Curing	steam : 1day humidity : 80% temp. : 60℃	steam curing : 3days humidity : 80% temp. : 50℃		

분포를 위하여 공시체의 상하부분을 유황으로 캡핑하였으며 시험결과는 표 2 에 나타나 있다.

4. 실험체 설치 및 실험진행

4.1 실험체 설치

실험체의 설치상황은 그림 4에 나타나 있으며 하중재하에 따른 중앙부 상부콘크리트의 처짐을 측정하기 위하여 지지점 양측에 각각 50mm dial gage를 2개 설치하였으며 P.C.부재의 변이짐을 측정하기 위하여 100mm dial gage를 1개 설치하였다. 실험체를 U.T.M. bed 위에 양지지점을 고정하기 위해 그림 4에서 처럼 보조철물을 설치한 후 상부 콘크리트면 상부에 균일한 가력을 위해 가력면 상부에 석고 페이스트를 고르게 퍼고 steel plate($t=28\text{mm} \times 3$)를 설치하였으며 dial guage 및 load-cell은 data logger에 연결하여 이상유무를 확인한 후 영점조정을 하였다.

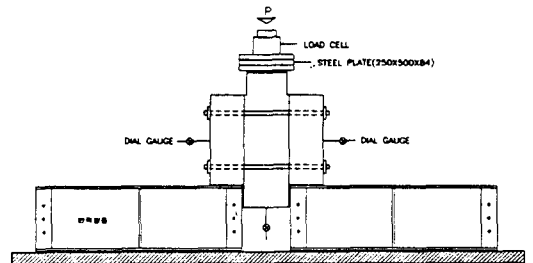


Fig. 4 Test set-up

4.2 실험진행

P.C.와 상부 콘크리트 사이 접합면의 수평전단 내력을 측정하기 위해 최대하중까지 일정한 하중 조절에 의해 실험을 진행하였고, 부재 파괴후에 접착면의 파괴 양상을 알아보기 위해서 부재를 해체하여 접합면의 파괴양상을 관찰하였다.

5. 실험결과 및 분석

5.1 일반적 파괴양상

표면마감을 흙손으로 한 E형 실험체는 콘크리트의 부착력만으로 전단저항을 하므로 파괴형태는 부착력의 상실에 의한 부착파괴를 나타내었다. 표면마감을 흙손으로 하고 전단철근을 설치한 EH형 실험체는 E형 실험체와 GH형 실험체의 복합적 거동을 하므로 최대내력에 있어서도 H형과 GH형의 최대내력의 합으로 나타났다. 정량적인 표면거칠기를 한 R형 실험체는 하부 P.C.의 스크래치 홈 사이로 상부 콘크리트가 부착되어 전단마찰에 의한 파괴양상을 보였으며, RH형 실험체는 R형+GH형+H형 실험체의 복합적 거동을 하였으며 파괴형태는 콘크리트에 의한 부착전단과 전단철근에 의한 전단파괴강도의 합으로 나타났다. 각 실험체별 실험결과를 표 3에 나타나 있다.

Table 3 Test results

Specimen	Load(ton)		P_{cr}/P_{max}	τ_{ave}	τ_{ave}/f_c	Failure mode
	P_{cr}	P_{max}				
SH E	21	28.0	0.75	8.750	0.027090	bond
SH GH	-	12.0	-	-	-	shear
SH EH	35	48.8	0.72	15.250*	0.047214*	bond+shear
SH EWH	36	42.6	0.85	13.313*	0.041217*	bond+shear
SH R5	44	58.5	0.75	18.281	0.056598	bond+shear
SH R7	38	69.4	0.84	21.688	0.067146	bond+shear
SH R10	61	77.0	0.79	24.063	0.074468	bond+shear
SH R5H	42	54.0	0.78	16.875*	0.052266*	bond+shear
SH R7H	53	70.1	0.76	21.906*	0.067820*	bond+shear
SN E	-	18.7	-	5.844	0.024974	bond
SN GH	-	12.0	-	-	-	shear
SN EH	22	29.1	0.76	9.094*	0.038863*	bond+shear
SN EWH	18	26.9	0.67	8.406*	0.035923*	bond+shear
SN R5	35	40.0	0.88	12.500	0.053419	bond+shear
SN R7	39	48.8	0.80	15.250	0.05171	bond+shear
SN R10	47	58.5	0.80	18.281	0.078124	bond+shear
SN R5H	32	41.0	0.78	12.813*	0.054756*	bond+shear
SN R7H	37	47.0	0.79	14.688*	0.062799*	bond+shear

τ_{ave} : 평균전단응력 (= P_{max}/A)

* : 전단보강만 합산지임

5.2 전단응력과 전단계수

5.2.1 콘크리트 압축강도의 영향

슬래브 상부 콘크리트를 고강도화할수록 접합면 부착력의 증가로 부재저항력이 커짐을 알 수 있었다. 콘크리트 압축강도에 따른 전단내력을 비교해 볼 때 모든 실험체에서 고강도의 경우 보통 강도보다 약 43~50% 정도 부착강도가 증가하였다(그림 5). 이는 상부 콘크리트를 고강도화 할수록 접합면에서 전단저항력이 증대하는 것을 의미하고 있다. 전단계수(τ_{ave}/f_c)는 평균전단응력을 콘크리트 압축강도로 나눈 값으로서 접합면 형태에 따른 전단응력과 최대 전단내력을 구하는데 도움이 된다. 그러나 실험결과, 전단계수치가 고강도와 보통강도 모두 비슷한 값으로 나타났다.(그림 6)

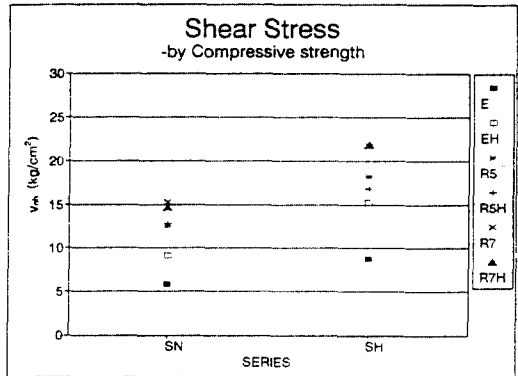


Fig. 5 Shear stress with compressive strength

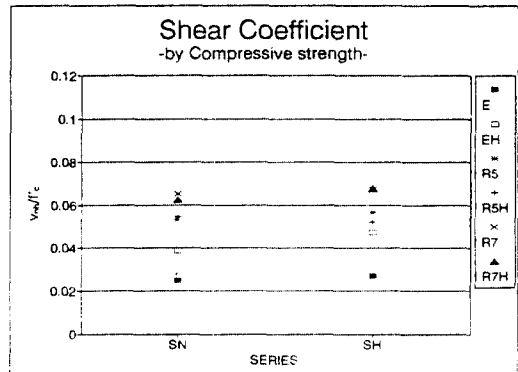


Fig. 6 Shear coefficient with compressive strength

5.2.2 집합면 형태에 따른 비교

집합면 형태에 따른 평균전단응력과 전단계수의 계산결과 및 비교가 표 3, 그림7, 8에 나타나 있다. 그림 7에서 보듯이 SN-E형 실험체의 전단응력만이 낮게 나타나 있으며 EH형은 보통강도인 경우 9.094kg/cm^2 와 고강도인 경우 15.250kg/cm^2 로 나타났으며, R7형과 R7H형은 각각 21.688kg/cm^2 , 21.906kg/cm^2 로 전단저항능력이 양호한 것으로 나타났다. 실험결과 전단계수는 표면을 흙손으로 마감한 경우가 0.024974 (보통강도)와 0.02709 (고강도)로 나타났으며, 표면거칠기를 7mm 로 한 경우가 0.065171 (보통강도)과 0.067146 (고강도)로 나타나 표면처리깊이에 따라 전단계수는 증가함을 알 수 있어 표면거칠기는 전단계수에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판명되었다.(그림 8)

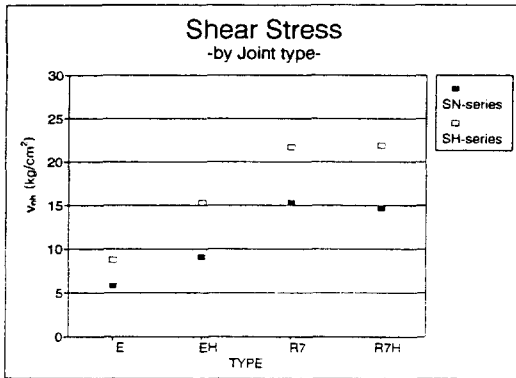


Fig. 7 Shear stress with joint type

5.2.3 전단철근의 유무에 따른 비교

전단철근의 유무에 따른 집합부 최대 전단내력을 바탕으로 평균전단응력과 전단계수를 알아보면 크게 E형 실험체와 R형 실험체로 분류할 수 있다. 그림9에 나타나 있듯이 E형 실험체의 전단응력이 비교적 낮게 나타나 있으며, 면내전단내력을 높이기 위해서 전단연결근을 사용하여 50~55% 가량 높일 수 있었다. R형인 R5와 R7 실험체는 비교적 전단응력이 높게 나타나 안전한 집합면 형태임을 알 수 있다. 그러나, R형과 RH형에서 비교해보면 평균전단응력이 E형 실험체에서 볼 수 있었던 만큼 현저한 증가를 볼 수는 없었다.

5.2.4 표면 거칠기 정도에 따른 비교

그림 11에서처럼 표면거칠기가 커질수록 전단응력이 거의 일정하게 증가함을 보여주고 있어 정

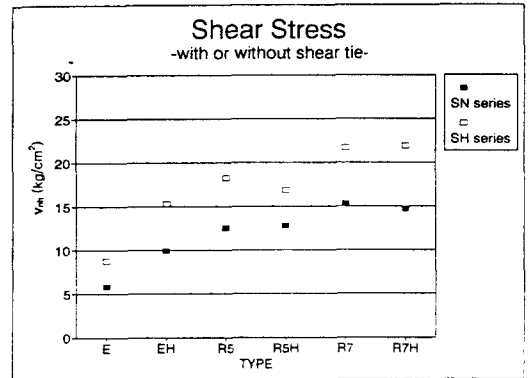


Fig. 9 Shear stress with or without shear tie

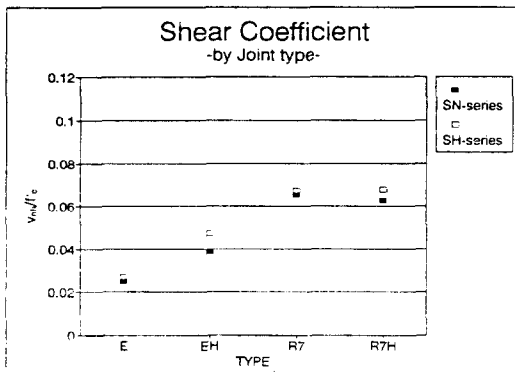


Fig. 8 Shear coefficient with joint types

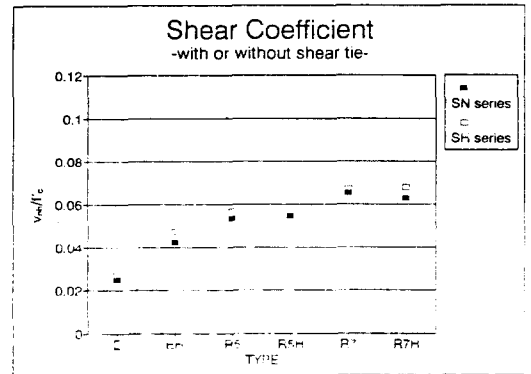


Fig. 10 Shear coefficient with or without shear tie

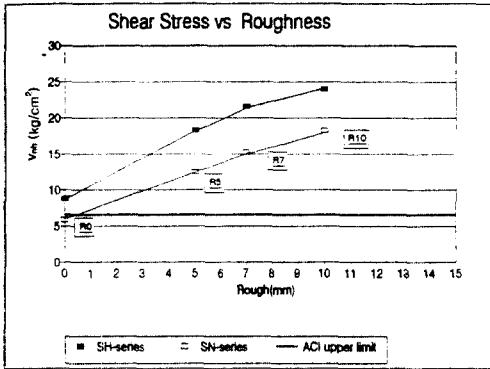


Fig. 11 Shear stress with roughness

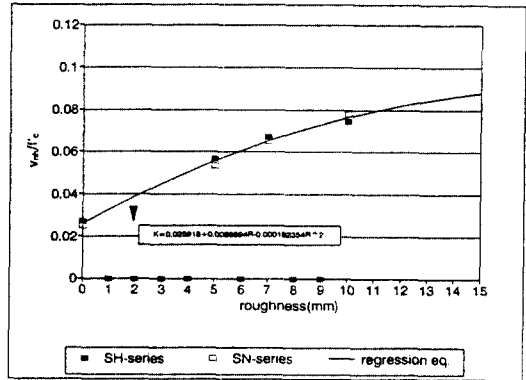


Fig. 13 Shear coefficient eq. vs test results (regress analysis)

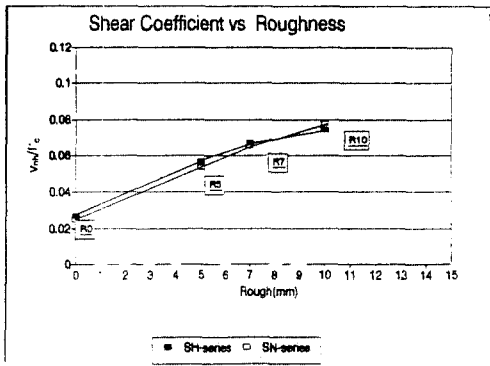


Fig. 12 Shear coefficient with roughness

량적 스크래치의 가능성과 이에 따른 전단강도 예측이 가능한 것으로 사료된다. 고강도 콘크리트를 사용한 실험체는 보통강도를 사용한 실험체보다 E형인 경우 50%, R5형인 경우 46%, R7형인 경우 42%, R10형인 경우 32% 높게 나타났다. 이것은 스크래치가 깊을수록 고강도와 보통강도 전단 응력차이의 증가율은 조금씩 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 전단계수에 있어서도 그림 12에서처럼 고강도와 보통강도를 사용한 실험체의 전단계수비는 E형의 경우 8%, R5형의 경우는 5%, R7형의 경우 3%, R10형 1%로 차이가 나타나 거의 비슷한 결과를 나타내었다.

5.3 규준과의 비교

ACI 318-92(Revised) 17.5에서 제안하고 있는

합성부재의 수평전단 강도의 상한값과 실험결과가 그림 13에 나타나 있다. ACI규준에서 제시하고 있는 인위적인 표면거칠기를 갖는 경우와 비교해 보면 흙손으로 표면처리를 한 보통강도 콘크리트의 경우를 제외하고는 표면처리 깊이가 증가할수록 모든 결과치가 ACI규준을 크게 상회하고 있어 ACI규준은 매우 안전측인 것으로 나타났다. 특히 표면거칠기가 5mm인 경우에서도 보통강도와 고강도 콘크리트 모두 2배를 상회하고 있음을 보여주고 있다. 이는 전단철근을 설치한 경우에만 명시되어 있는 표면거칠기 5mm 이상을 고려해 볼 때 전단철근이 설치되지 않은 경우에도 전단강도를 표면거칠기 정도에 따른 구분이 필요하다고 사료된다.

5.4 표면거칠기에 따른 전단계수 결정식

부분 P.C. 슬래브 사용시 접합면 전단내력은 전단철근 및 접합면의 콘크리트 표면 상태 그리고 상부콘크리트의 압축강도를 가지고 산정한다. 그러나 콘크리트 접합면의 형상을 가지고 전단내력을 계산할 수 있는 식이 제시되어 있지 않아 본 실험결과를 토대로 접합면 전단내력을 계산할 수 있도록 콘크리트의 표면거칠기 정도에 따른 전단계수(K)식을 다음과 같이 제안하였다.

$$K = 0.025918 + 0.0068894 \cdot R - 0.000182354 \cdot R^2$$

. 제안식의 사용범위

표면거칠기 $0 < R < 10\text{mm}$

스크래치 간격 50mm

콘크리트 압축강도 $234 < f'_c < 324 \text{ kg/cm}^2$

따라서 수평전단강도는 다음과 같다.

$$V_{nh} = K \cdot f'_c \cdot A_c$$

V_{nh} : 소요 수평전단강도

K : 전단계수치

f'_c : 콘크리트 압축강도

A_c : 부착단면적

위에서 결정된 전단계수치를 이용하여 전단응력과 전단력을 산정할 수 있다. 또한 위의 결정식은 상부 압축강도가 다르더라도 사용할 수 있으며 실험결과치와 비교한 결과가 그림 13에 나타나 있다.

6. 결 론

이상의 면내전단실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 접합면의 부착력 및 콘크리트 전단저항력은 고강도 콘크리트를 사용할수록 효과적이다.
- 2) 전단철근의 사용은 부재의 전단저항능력에 도움이 되는 것으로 보여진다.

3) 수평전단계수는 콘크리트 강도에 관계없는 것으로 나타나 콘크리트에 의한 전단내력을 예측할 수 있다.

4) 콘크리트 표면의 거칠기가 깊을수록 전단내력은 증가하였다.

5) 정량적인 표면거칠기가 있는 경우에는 제안식을 이용하여 접합면의 전단내력을 산정할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 벽산건설(주)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 벽산건설 기술연구소 직원 여러분께 감사드립니다. 또한 여러모로 도움을 주신 한양대학교 박 용환 교수님과 다우 건축설계사무소 육 옥수 소장님께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89)," American Concrete Institute, Detroit, 1989.
2. 배 규 응, "혹크 보강 하프슬래브 공법", 합성바닥 판공법 세미나 발표집, 프리캐스트 콘크리트 연구회, 1993. 4. 27, pp 63-99
3. 신 성 우 외, 부분 P.C. 슬래브의 면내전단력에 관한 연구, 대한건축학회 춘계학술발표회 논문집, 제14권 1호 1994. 4, pp 417-422

(접수일자 : 1994. 8. 1)