

대형판 조립식 구조 수직접합부 지압강도 평가에 관한 연구

An Experimental Study on the Evaluation of Bearing Strength of the Vertical Joints in Precast Concrete Large Panel Structures

정 란* 조승호** 황민하***
Chung, Lan Cho, Seung Ho Hwang, Min Ha

요 약

PC 판넬 조립식 구조는 다양한 접합부 상세로 인하여 구조적인 거동 규명이 매우 어려우므로 판넬 상호 접합부 거동에 대하여 역학적 거동을 규명하고 이를 정립하여 실용적인 설계 방안이 제시되어야 할 필요가 있다.

이 연구는 대형판 조립식 구조의 수직접합부 전단키의 적절한 형상을 제안하여 전단내력을 결정하는 식 중 일반적으로 가장 작게 계산되는 전단키의 지압내력에 관한 식을 개선하는데 연구의 목적이 있다.

전단키 지압내력에 영향을 주는 그라우트의 압축 강도, 전단키의 각도 및 지압면적 등을 변수로 총 21개의 시험체를 제작하여 실험하였다.

실험결과를 분석·검토한 결과를 정리하면 그라우트의 압축 강도가 증가할 때에 지압내력은 강도 증가에 비례하여 증가하는 반면 지압면적에 대하여는 면적 증가에 비례하여 강도가 증가되지는 않았다. 또한 전단키를 이루는 각도는 지압내력에 중요한 영향을 미치며 전단키 각도가 20°에 근접할 때에 최대지압내력값을 나타내었다.

Abstract

It is well-known that the bearing strength in vertical joints of precast concrete large panel system is affected by grout compressive strength, angle of shear key and bearing area. 21 vertical joint specimens were tested to investigate the effects of these parameters.

The analysis of test results shows that :

* 정희원, 단국대학교 건축공학과 부교수, 공학박사
** 정희원, 전우구조 기술사 사무소, 공학석사
*** 정희원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 10월 30일까지 학회로 보내주시면 1996년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. The higher be grout compressive strength, the higher will shear strength be. And the bearing strength does not so increase in proportion of bearing area.
2. The shear key with the angle of 20° shows the highest bearing strength among three angle variables of 20°, 25°, 30°.

Keywords : precast concrete panel, vertical joint, bearing strength, grout compressive strength, angle of shear key, bearing area

1. 서 론

1.1 연구배경

우리나라에서 대형판을 사용한 조립식 구조의 아파트 건설 방법은 1960년대에 처음으로 도입되어 현재는 몇 개 업체를 중심으로 활발히 적용되고 있다. 이러한 대형판 프리캐스트 콘크리트(PC) 구조물의 특징은 내력벽과 바닥판이 서로 연결, 조립되어 구성되는 것으로 일체식 철근콘크리트 구조와 달리 각 부재가 접합부에서 결합 집성되어 전체적으로 일체화를 통하여 구조 안정을 이루는 데 있다. 그러나 PC 판넬 조립식 구조는 다양한 접합부 상재로 인하여 구조적인 거동 규명이 매우 어려우므로 판넬 상호의 접합부 거동에 대하여 역학적 특성을 규명하고 이를 정립하여 실용적인 설계방안이 제시되어야 할 필요가 있다.

PC 판넬 조립식구조의 수직접합부 거동에 대하여는 한양대⁶⁾, 인하대¹¹⁾, 단국대¹²⁾ 등에서 이미 많은 실험을 통하여 연구 중에 있다. 그러나 기존연구들은 주로 일정한 형태의 전단성능 규명에 초점이 맞추어져 있어 수직접합부의 전단내력에 영향을 미치는 인자를 변수로 한 실험연구는 그다지 많이 이루어지지 않고 있다.

1992년에 건설부령으로 공포되어 우리나라에서 현재 적용하고 있는 PC 구조 설계 기준에 제시된 강도 산정식은 요철형(castellated)으로 된 수직접합부의 전단내력을 산정하는 데 있어서 강도에 영향을 미치는 인자로서는 그라우트의 압축강도(f_g)와 전단키의 깊이(t)와 크기(L), 전단키의 지압면적(A_c) 및 루프 철근의 항복강도(f_g)와 단면적(A_{vf}) 등이다.

1.2 연구목적

수직접합부의 전단내력을 결정하는 건설부 제정 프리캐스트 콘크리트 조립식건축 구조설계기준¹¹⁾에 의한 수직접합부 전단강도 산정식은 아래와 같다.

(1) 전단키가 있을 경우에 다음 ㉠ ㉢ 식의 전단강도 중 제일 작은 값을 택한다.

㉠ 접합부 그라우트의 전단강도

$$\phi V_{nj} = \phi \lambda V_c A_j (\phi = 0.85) \quad (1)$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f_g}$$

㉢ 전단키에 대한 전단강도

$$\begin{aligned} \phi V_{nk} &= \phi 0.2 \lambda f_g A_k (\phi = 0.85) \text{ 또는} \\ &= \phi 56 \lambda A_k \text{ 중 작은 값} \end{aligned} \quad (2)$$

㉡ 전단키의 지압내력

$$\phi P_{nj} = \phi 0.85 f_g A_c (\phi = 0.7) \quad (3)$$

(2) 보강 철근은 접합부 형태에 관계없이 전단마찰 이론에 의한 식으로 계산된다.

$$\phi V = \phi \mu f_y A_s (\phi = 0.85) \quad (4)$$

μ : 접합부의 전단마찰 계수

총 전단력은 (1)항에서 계산된 값 중에서 가장 작은 값과 (2)항에서 계산된 수치를 합하여 얻을 수 있다.

여기서 $\lambda : 10$

f_g : 그라우트의 압축강도(kg/cm²)

A_s : 수평보강철근 단면적(cm²)

A_j : 전단키의 접합부면적(cm²)

A_k : 전단키의 면적(cm²)

A_c : 전단키의 지압면적(cm²)

이 연구는 대형판 조립식 구조의 수직접합부 전단키의 형상에 따른 전단키의 폭과 높이 및 깊이가 그리고 전단키를 이루는 각도(α)를 변수로 전단내력을 실험적으로 규명하여 전단키의 지압내력에 관한 식 $\phi P_{nj} = \phi 0.85f_g A_c$ 을 개선하고자 하는데 연구의 목적이 있다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

연구의 목적을 위하여 Fig. 1과 Table 1에서 보는 바와 같이 전단키의 지압강도를 결정하는 식 $\phi P_{nj} = \phi 0.85f_g A_c$ 을 검토하고자 그라우트의 압축강도($f_g = 210, 300, 400\text{kg/cm}^2$), 전단키의 각도($\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$), 지압면적($A_c = 10, 20, 30\text{cm}^2$)에 변화를 주어 Table 2와 같이 시험체를 설계하였다.

시험체의 크기는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 제작하였다.

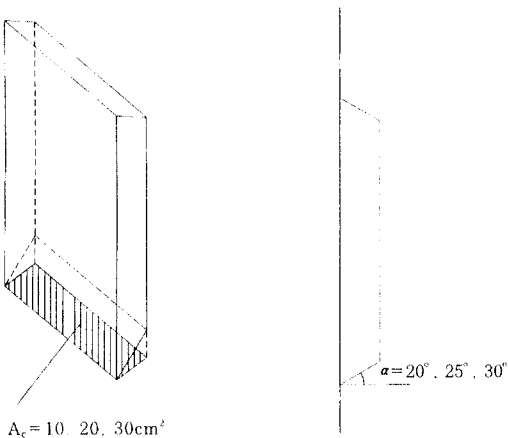


Fig. 1 Shape of shear key

Table 1 Test parameters

Grout compressive strength	Test parameter		
	$f_g = 210, 300, 400\text{kg/cm}^2$	$\alpha = 25^\circ$	$A_c = 20\text{cm}^2$
Angle of shear key	$\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$	$f_g = 300\text{kg/cm}^2$	$A_c = 20\text{cm}^2$
Bearing area	$A_c = 10, 20, 30\text{cm}^2$	$f_g = 300\text{kg/cm}^2$	$\alpha = 25^\circ$
Total No. of specimen	3 EA/parameter \times 7parameter = 21EA		

Table 2 Specimen detail

Specimens	Grout compressive strength (kg/cm ²)	Angle of shear key (°)	Bearing area (cm ²)	No. of specimens
210-25-2	210	25	20	3
300-20-2	300	20	20	3
300-25-1	300	25	10	3
300-25-2	300	25	20	3
300-25-3	300	25	30	3
300-30-2	300	30	20	3
400-25-2	400	25	20	3

300-25-2A

No. of specimens(A, B, C)

Bearing area(10cm², 20cm², 30cm²)

Angle of shear key(20°, 25°, 30°)

Grout strength(210kg/cm², 300kg/cm², 400kg/cm²)

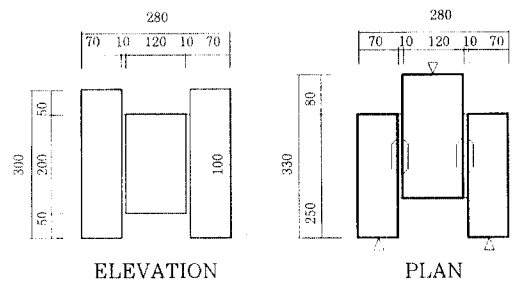


Fig. 2 Size of specimen

2.2 시험체 제작

각 시험체는 하나의 변수에 3개의 시험체를 계획하여 판넬 콘크리트의 예상압축강도 270kg/cm²으로 레미콘회사에 주문의뢰하여 타설하고 자연양생 후 조립하였다.

접합부에 사용된 그라우트의 압축강도는 210kg/cm², 300kg/cm², 400kg/cm²의 배합설계기준에 따라 배합하였다. 또한 그라우트 배합은 건설부 프리캐스트 콘크리트 조립식 건축구조 설계기준에 의거 시

멘트와 모래의 중량비를 C:S=1:2로 하였다.

타설과 실린더 제작을 병행하였으며 타설 후 12시간 경과 후 물시멘트비 29%인 시멘트풀로 캡핑하였고 24시간 경과 후 실린더 모듈더를 제거하였다.

양생은 시험체와 동일조건으로서 대기양생 하였으며 타설시 온도는 18℃ 였고 양생온도는 평균 15℃ 내외였다.

접합부 충전용 그라우트의 배합기준은 Table 3과 같다.

Table 3 Mix proportions for grouting mortar

Design strength (kg/cm ²)	W/C ratio (%)	Unit weight(kg/m ³)				Note
		W	C	S	AD	
210	60	370	616	1234		
300	53	336	634	1267	1.27	Admixture : MIGHTY 150-0.2%
400	45	296	657	1313	1.31	Admixture : MIGHTY 150-0.3%

판넬 콘크리트 압축강도 및 접합부 그라우트제의 압축강도는 KS F 2405에 따라 공시체 직경 10cm, 높이 20cm의 각 강도마다 5개의 실린더를 제작하여 실험과 동시에 압축강도를 측정하였다. 측정 결과 PC부재의 압축강도는 평균 272kg/cm²이었고, 그라우트의 압축강도는 평균 233kg/cm²(표준편차 $\sigma=7.3$), 278kg/cm²(표준편차 $\sigma=9.6$), 350kg/cm²(표준편차 $\sigma=5.4$)로 각각 나타났다.

그라우트의 예상압축강도 400kg/cm²가 350kg/cm²로 나타난 것은 시험체 접합면에 그라우트 주입시 충전상태가 부실하게 될 것으로 판단되어 배합기준의 물시멘트비보다 조금 높게 배합하여 타설하였기 때문이라 사료된다.

2.3 실험방법

실험방법은 시험체를 스트롱 프레임에 설치하고 수평방향 이동을 구속시킨 다음 최대용량 50ton인 유압 잭을 로드셀에 연결하여 시험체 중앙부분을 가력하였으며 변위는 인접벽판 사이의 상대 처짐을 측정하였다.

시험체 설치 상황은 Fig. 3과 같이 시험체 양단부는 수평이동이 발생하지 않도록 stopper를 밀

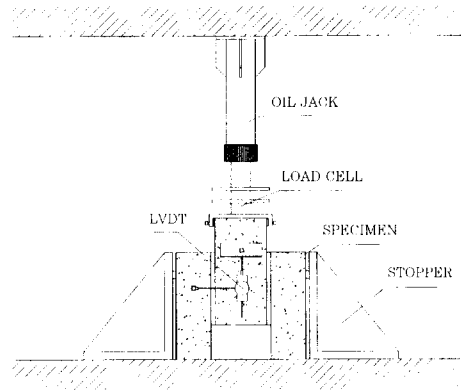


Fig. 3 Test set-up

착시켜 고정시키고 시험체가 최종파괴될 때까지 가력하였다.

가력방법은 균열이 발생하기 전까지는 1ton씩 가력하였고 최대하중 부근에서는 변위 조절 방식으로 가력하였다. 시험체의 중앙부와 양쪽 좌우 접합부의 상대변위를 측정하기 위하여 앞으로 2개의 선형 변형측정기(측정단위 1/100mm)를 설치하여 벽판의 상대변위를 측정하였다. 또한 가력에 따른 시험체 중앙부의 파괴를 방지하기 위하여 철물을 제작하여 시험체 중앙부에 설치하고 직접 가력하였다.

3. 실험결과

실험에 의한 각 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 4~Fig. 10과 같으며 하중변화에 따른 시험체 거동에 대한 중요사항을 열거하면 다음과 같다.

시험체의 2개의 전단키는 하중에 대하여 동시에 저항하다가 1개의 전단키에 균열이 발생하면서 일단 내력이 떨어졌다가 나머지의 전단키가 하중에 대하여 저항하여 다시 내력이 상승된 후 최종파괴되는 것을 알 수 있다.

Fig. 4~Fig. 10에서의 국내규준은 지압내력식인 $P_{nj} = 0.85 \times f_g \times A_c$ 를 이용하여 비교하였고 이때의 f_g 는 공시체의 압축강도 시험결과를 이용하여 233kg/cm², 278kg/cm², 350kg/cm²로 계산하였다.

3.1 210-25-2 시험체

그라우트의 압축강도 233kg/cm², 전단키의 각도 25°, 지압면적 20cm²인 210-25-2 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 4와 같다.

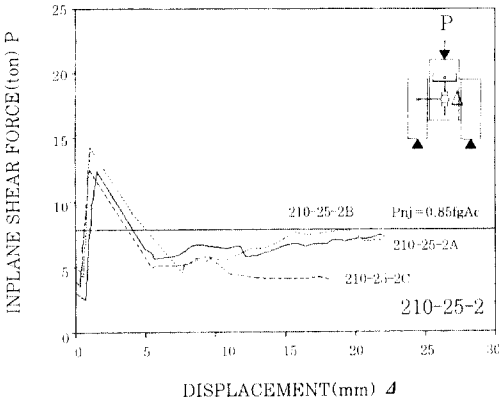


Fig. 4 Load-displacement curve(210-25-2)

초기균열이 발생되기 전까지는 3개의 시험체 모두 하중 증가에 대한 변위가 나타나지 않았으며, 평균 하중 4.01ton에서 초기균열이 그라우트 표면에 사인장 균열로 발생되었다. 최대하중은 평균 13.05ton으로 3개의 시험체 모두 하중-변위 곡선이 거의 유사한 이력곡선으로 나타나고 있다.

3.2 300-20-2 시험체

그라우트의 압축강도 278kg/cm², 전단키의 각도 20°, 지압면적 20cm²인 300-20-2 시험체의 하중-변위 곡선(Fig. 5)은 평균 4.21ton에서 초기균열하중이 나타났다. 초기균열하중 이후 최대하중(평균 18.12ton)에 이르기까지 변위의 증가폭은 미세하게 증가하다가 최대하중 이후 큰 변위를 나타내고 있다.

300-20-2B 시험체와 300-20-2C 시험체는 최대하중에서의 파괴 후 계속 가력을 하였을 때 시험체의 날개 부분에 균열을 일으켰다.

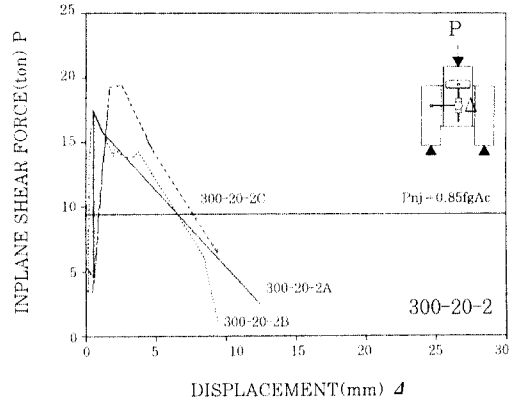


Fig. 5 Load-displacement curve(300-20-2)

3.3 300-25-1 시험체

300-20-2 시험체보다는 전단키의 각도가 5° 큰 25°이고 지압면적이 10cm²인 300-25-1 시험체의 초기균열하중은 평균 3.37ton으로 최대하중은 평균 12.97ton으로 Fig. 6의 하중-변위 곡선에서 보는 바와 같다.

300-25-1B 시험체의 경우는 한쪽면의 전단키 파괴시 하중이 감소하다가 즉시 하중의 증가와 함께 나머지 전단키에 파괴를 일으키며 급격히 하중이 저하되며 실험이 종료되었다.

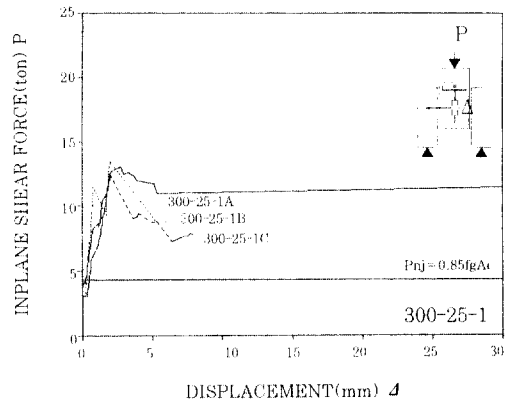


Fig. 6 Load-displacement curve(300-25-1)

3.4 300-25-2 시험체

300-25-2 시험체는 이번 실험에 기준이 되는 시

험체로 그라우트의 압축강도 $278\text{kg}/\text{cm}^2$, 전단키의 각도 25° , 지압면적 20cm^2 인 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 7에서 보는 바와 같다.

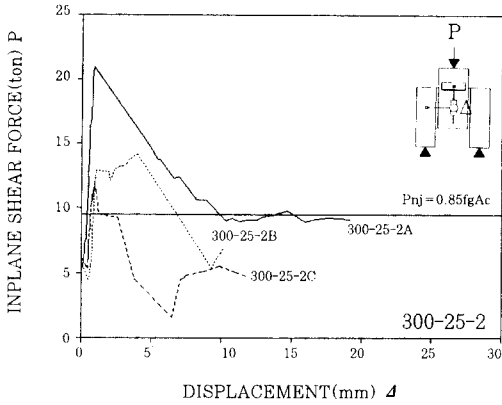


Fig. 7 Load-displacement curve(300-25-2)

300-25-2A 시험체의 5.2ton에서 초기균열이 그라우트면을 따라 일어났다. 이때의 하중은 감소하지 않고 변위만 미세하게 증가하다가 20.95ton의 최대하중을 나타내며 그라우트면에 사인장 균열형태로 파괴되었다.

이들 시험체의 평균 초기균열하중은 5.73ton이고, 최대하중은 평균 15.55ton을 나타내었다.

3.5 300-25-3 시험체

300-25-2 시험체보다 지압면적이 큰 30cm^2 인 300-25-3 시험체의 초기균열하중은 평균 4.5ton

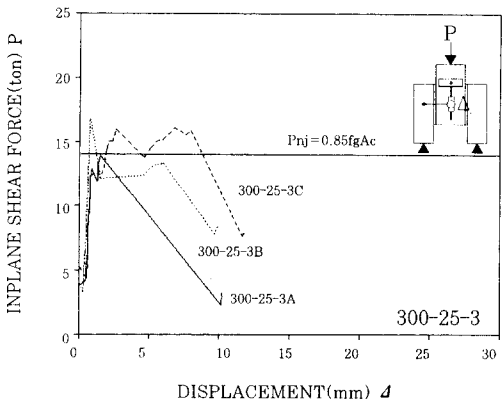


Fig. 8 Load-displacement curve(300-25-3)

이고 최대하중은 평균 15.61ton으로 Fig. 8의 하중-변위 곡선에서 보는 바와 같다.

300-25-3A 시험체는 양쪽의 전단키가 동시에 파괴되지 않고 약간의 차이를 두고 파괴되었는데 이는 시험체에 편심이 작용되어 나타난 현상으로 사료된다.

3.6 300-30-2 시험체

300-25-2 시험체보다 전단키의 각도가 5° 큰 30° 로서 300-30-2 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 9와 같다.

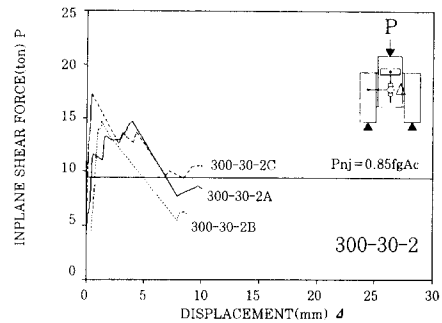


Fig. 9 Load-displacement curve(300-30-2)

3개의 시험체 모두 초기균열시 그라우트면에 균열이 발생되어 하중의 감소현상없이 변위만 미세하게 증가하였다.

300-25-2 시험체의 평균 초기균열하중은 4.32ton이고 평균 최대하중은 15.53ton으로 나타났다.

3.7 400-25-2 시험체

300-25-2 시험체보다 그라우트의 압축강도가 큰 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 400-25-2 시험체의 초기균열하중은 평균 6.47ton이고 최대하중은 평균 18.3ton을 나타냈다(Fig. 10 참조).

3개의 시험체 모두 초기균열이후 하중의 감소없이 증가하다가 한쪽면의 전단키가 파괴되면서 하중이 감소하다가 즉시 하중의 증가와 함께 나머지 전단키가 파괴되면서 실험이 종료되었다.

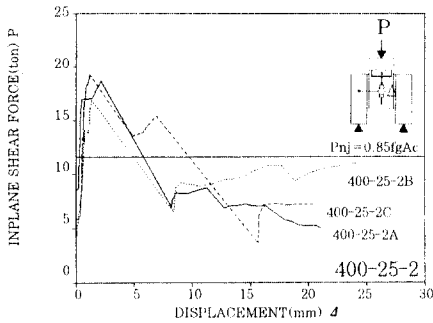


Fig. 10 Load-displacement curve(400-25-2)

Table 4 Summary of test results

Specimen	Initial crack				Peak load			
	Load (ton)	Ave.	Displ. (mm)	Ave.	Load (ton)	Ave.	Displ. (mm)	Ave.
210-25-2A	3.04		0.01		12.37		1.535	
210-25-2B	5.07	4.01	0.07	0.047	14.24	13.05	1.045	1.19
210-25-2C	3.92		0.07		12.53		0.99	
300-20-2A	5.38		0		17.39		0.57	
300-20-2B	3.64	4.21	0.01	0.005	17.52	18.12	0.51	1.22
300-20-2C	3.61		0.005		19.44		2.58	
300-25-1A	4.0		0.04		13.02		2.765	
300-25-1B	3.04	3.37	0.07	0.04	13.46	12.96	1.99	2.25
300-25-1C	3.06		0.01		12.42		2.0	
300-25-2A	5.2		0.005		20.95		0.865	
300-25-2B	5.79	5.73	0.005	0.008	14.17	15.55	3.99	1.91
300-25-2C	6.21		0.015		11.54		0.865	
300-25-3A	4.1		0.01		13.96		1.50	
300-25-3B	4.18	4.5	0	0.017	16.77	15.61	0.75	3.02
300-25-3C	5.22		0.04		16.09		6.79	
300-30-2A	4.65		0.005		14.69		3.97	
300-30-2B	4.62	4.32	0.005	0.003	14.66	15.53	1.325	1.92
300-30-2C	3.69		0		17.23		0.45	
400-25-2A	8.55		0.025		18.66		2.175	
400-25-2B	5.04	6.47	0.1	0.05	16.92	18.3	1.3	1.56
400-25-2C	5.82		0.025		19.31		1.19	

4. 실험결과의 분석 및 고찰

4.1 그라우트의 압축강도에 따른 영향

Fig. 11은 그라우트의 압축강도에 따른 최대내력 값을 비교한 것으로 그라우트의 압축강도 증가에 따라 내력도 비례하여 증가하는 것으로 나타나고 있다.

그라우트의 압축강도가 233kg/cm², 278kg/cm²

로 증가할 때 약 20%정도 내력이 증가되었으며, 350kg/cm²일 때에는 약 40% 정도 최대내력이 선형으로 증가하였다.

따라서 그라우트의 압축강도가 지압강도에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 그라우트의 압축강도에 비례하여 전단강도를 계산하도록 되어 있는 국내설계기준은 적절한 것으로 판단된다.

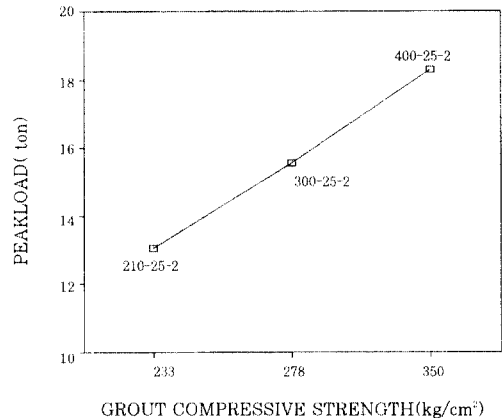


Fig. 11 Comparisons of peak load vs grout compressive strength

4.2 전단키 각도에 따른 영향

전단키의 각도가 $\alpha = 20^\circ$, 25° , 30° 일 때의 최대내력값을 Fig. 12에 비교하였다. 전단키의 각도가 20° 일 때 최대내력 18.1ton으로 가장 크게 나타났다.

전단키의 각도가 20° 에서 25° 로 증가할 때에 최대내력이 약 14% 정도 감소하며 25° 에서 30° 로 증가할 때는 최대내력값의 감소현상이 거의 나타나지 않았다.

따라서, 전단키의 각도가 25° 이상되면 내력저하에 영향을 미치게 되며, 참고문헌^[2]에 제시된 바와 같이 전단키의 각도가 21.9° 에 근접할 수록 최대내력값이 크게 나타났다.

4.3 지압면적에 따른 영향

Fig. 13은 지압면적에 따른 최대내력값의 비교로 지압면적이 1배에서 2배로 증가할 때 약 20% 정도

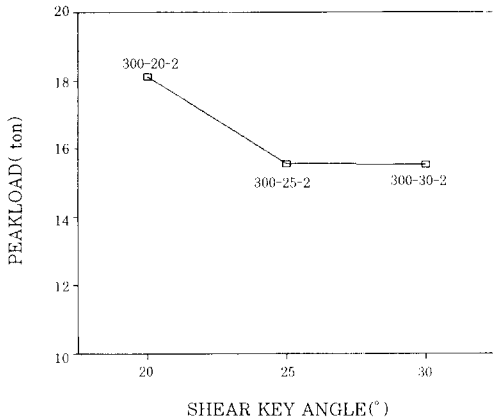


Fig. 12 Comparisons of peak load vs angle of shear key

최대내력값이 증가되었으나 지압면적이 2배에서 3배로 증가할 때는 거의 내력값이 증가하지 않았다. 이것은 어느 정도의 지압면적 이상이 되면 이상의 면적이 증가되어도 최대내력에는 큰 영향이 없고 전단키의 크기 10×10cm인 경우 전단키의 깊이는 2cm정도가 최대전단내력을 발현시키는 것으로 보인다. 다만, 300-25-2 시험체 실험결과값의 표준편차가 타 시험체결과값 보다 크므로 이에 대하여는 보다 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

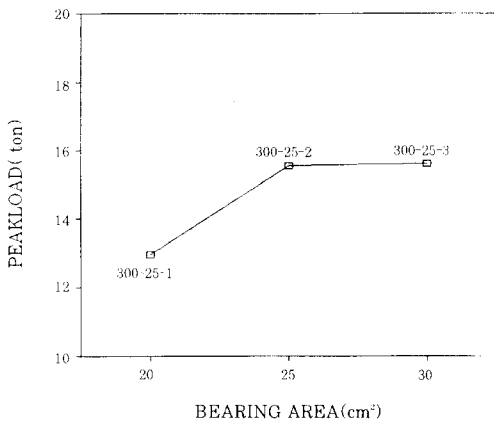


Fig. 13 Comparisons of peak load vs bearing area

4.4 국내 기준값과의 비교

Table 5는 실험결과값과 전단키의 지압내력에

의한 국내 기준식인 $P_{nj}=0.85 \times f_g \times A_c$ 값을 이용하여 비교하여 나타내었다.

이 표에 나타난 것과 같이 국내 기준에 의한 값보다 실험결과값이 평균 1.75배 정도 높게 나타나 국내 기준치는 안전측으로 제시된 것을 알 수 있다.

Table 5 Comparisons of test result and code

Specimen	Initial load (ton)	Peak load (ton)	Bearing strength of code * (ton)	Peak load Code
210-25-2	4.01	13.05	7.7	1.7
300-20-2	4.21	18.12	9.2	2.0
300-25-1	3.37	12.96	4.9	2.6
300-25-2	5.73	15.55	9.2	1.7
300-25-3	4.5	15.61	13.7	1.14
300-30-2	4.32	15.53	9.2	1.7
400-25-2	6.47	18.3	11.5	1.6

* $P_{nj}=0.85 \times f_g \times A_c$

5. 결 론

측압을 가하지 않고 횡방향변위를 구속시킨 총 21개의 직접전단실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 전단키의 전단내력은 그라우트의 압축강도에 선형으로 비례하여 발현되었다. 따라서 그라우트의 압축강도에 비례하여 전단내력을 산정하도록 되어 있는 국내기준식은 적절한 것으로 판단된다.

2. 전단키가 수평면과 이루는 각도가 20° 정도에서 최대 내력을 발현시키는 것으로 판단된다.

3. 크기 10×10cm의 전단키는 깊이 2cm 이상되는 경우 지압면적에 비례하여 전단내력이 증가되지는 않았다. 따라서 전단키의 지압면적에 비례하여 전단내력을 산정하도록 되어 있는 국내 기준식은 보다 더 많은 연구를 통하여 개선하여야 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

4. 상기 결론은 측압을 가하지 않고 횡방향변위를 구속시킨 시험체의 실험결과 얻은 결론이다. 따라서 시험체의 횡방향을 구속시키지 않거나 측압을 가한 연구결과는 추후 연구를 통하여 얻을 예정이다.

参 考 文 献

1. 건설부, "프리캐스트 콘크리트 조립식건축 구조설계 기준 및 해설", 1992. 4.
2. 노영숙, "프리캐스트 콘크리트 대형판 구조의 수직접합부 전단강도 특성에 관한 연구", 단국대학교 대학원, 석사학위논문, 1993. 8
3. 정란, 박현수, 노영숙, "대형 판넬 PC 구조물의 수직접합부 전단내력에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제9권 2호, 1993. 2
4. 정란, "프리캐스트 콘크리트 구조 접합부 설계", 콘크리트학회지, 제6권 5호, 1994. 10
5. 정란, 박현수, 조승호, "대형판 공업화 주택구조 수직접합부 전단기의 전단내력에 관한 연구", 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 13집 7권 2호, 1995. 10
6. 김성수, "대형콘크리트판구조의 접합부 거동에 관한 연구", 한양대학교 대학원, 박사학위 논문, 1991. 6
7. 윤재환, "프리캐스트 콘크리트 대형 판넬구조의 연직 접합부에 관한 실험적 연구", 한양대학교 대학원, 석사학위 논문, 1979. 12
8. 이리형, 김성수, 이원호, "대형판넬 구조의 접합부에 관한 실험적 연구(I, II)", 대한건축학회 학술발표 논문집, 제1권 1집, 1981. 4
9. 이강근, 이리형, 김성수, 윤재진, "대형 콘크리트 판넬 구조의 수직접합부에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집, 제6권 2호, 1986. 10
10. 이현호, 김성수, 조상규, 이리형, "대형 콘크리트 판넬 구조의 수직접합부 거동에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집, 제10권 1호, 1990. 10
11. 대한주택공사, "PC 접합부 설계방식 개발을 위한 실험연구", 1992. 12
12. 삼성 종합 건설(주) 기술 연구소, "삼성 대형 PC 시스템의 구조성능 실험연구", 1993. 11

(접수일자 : 1996. 5. 2)