

콘크리트의 경계면 전단 전달에 대한 측압의 영향

Influence of the Lateral Pressure on the Interface Shear Transfer of Concrete

이 재 혁* 김 상 식** 최 영 규**
Lee, Jae Hyuk Kim, Sang Sik Choi, Young Gyu

ABSTRACT

In this study, the influence of the lateral pressure on the interface shear transfer of concrete has been investigated experimentally. A total of 21 specimens has been tested at the laboratory. The lateral pressure intensities in the tests have been taken as 0, 7, 14, 28 and 35 kg/cm² for the specimens, the compressive strengths of which are either 180, 400 or 550 kg/cm².

The linear regression analysis based on the test results has shown relatively good agreements with the values given in the shear friction theory.

1. 머리말

벽식 프리캐스트 콘크리트 부재나 코오벨과 같이 특정한 면을 통하여 전단력이 전달되는 구조에서 전단마찰은 매우 중요한 전단력 전달기구이다. 전단마찰 거동에 대하여서는 이미 매토크(Mattock)¹ 등 여러 연구자들에 의하여 광범위하게 연구되어 왔으며, 그러한 연구의 결과는 전단마찰 설계 기준에 성공적으로 반영되고 있다. 그러나 지금까지의 연구들은 대부분 전단설계면을 가로 질러 철근보강된 시험체들을 대상으로 한 것이며, 측압이 작용할 때 철근이 보강되지 않은 경계면에서 콘크리트의 전단응력과 골재의 맞물림 작용에 의한 전단력 전달에 대하여서는 많은 연구가 이루어

어 지지 않고 있다.

이 연구는 벽식 프리캐스트 콘크리트 수평 접합부와 같이 측압과 전단 경계면의 마찰 요소에 의하여 전단력을 지지하는 구조체의 전단 거동에 대한 기초연구로서, 전단보강이 안된 S형 시험체에 콘크리트 강도와 측압을 변수로 하여 전단실험을 하였으며, 그 결과에 대한 회귀 분석식을 제안하고 있다.

2. 시험체 및 실험장치

2.1 시험체 제작 및 시험체 형태

시험체는 경계면의 전단력 시험을 위주로 하여 그림 1과 같은 S형으로 하였다. 시험체의 전체 높이와 폭 및 두께는 각각 50 cm, 30 cm, 15 cm이며, 전단 경계면은 길이 20 cm, 전단 면적을 300 cm²으로 하여 총 21개의 시험체가 모두 같은 형태로

* 인하대 대학원 건축공학과 석사과정

** 정희원, 인하대 건축공학과 교수

제작되었다. 시험체의 제작에는 치수의 정확성과 면의 평활성을 유지하기 위하여 강제 거푸집이 사용되었으며, 실험도중 전단 경계면 이외의 곳에 균열이 생기는 것을 방지하기 위하여 그림 1에 표시된 바와 같이 시험체 상·하부의 가력면과 반력면에는 D13 철근을 배근하고 $\phi 6$ 철근으로 띠철근 보강을 하였다. 강도별 콘크리트의 배합비는 표 1과 같고, 굵은 골재는 지름 19 mm 이하의 쇄석이 사용되었다. 시험체는 시험변수에 따라 표 2에 보이는 바와 같이 세 자리의 기호로 표시되어 있다. 첫째자리는 시험체의 전단 경계면에 균열이 있고 없음을 나타내는 것으로, A로 표시된 것은 균열이 없는 시험체이고, B로 표시된 것은 시험체 경계면에 균열이 생긴 시험체이다. 둘째자리는 콘크리트의 압축강도에 관련된 기호로 L, M, N은 각각 180 kg/cm^2 , 400 kg/cm^2 , 550 kg/cm^2 의 압축강도를 가진 시험체들이며, 셋째자리는 축압의 크기를 나타내는 것으로서, 0은 축압이 없는 경우, 1은 7 kg/cm^2 의 축압, 2는 14 kg/cm^2 , 4는 28 kg/cm^2 , 5는 35 kg/cm^2 의 축압이 작용하는 경우를 의미한다.

2.2 실험방법 및 실험장치

콘크리트의 전단력 전달에 대한 축압의 영향을 조사하기 위한 시험에서는 시험체의

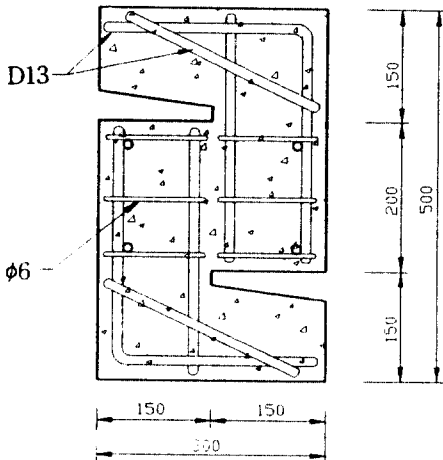


그림 1 시험체의 형태 및 배근

표 1 콘크리트 배합비

설계 강도 (kg/cm^2)	물 (kg/m^3)	시멘트 (kg/m^3)	모래 (kg/m^3)	자갈 (kg/m^3)	혼화* 제
180	200	270	924	924	-
400	200	476	760	926	1.2
550	180	600	624	1018	6.92

*혼화제-마이티150

표 2 시험체 형태

시험체	콘크리트 압축강도 (kg/cm^2)	초기 균열	축 압 (kg/cm^2)
AL0	180	없음	0.0
AL1	"	"	7.0
AL2	"	"	14.0
AL4	"	"	28.0
AL5	"	"	35.0
AM0	400	없음	0.0
AM1	"	"	7.0
AM2	"	"	14.0
AM4	"	"	28.0
AM5	"	"	35.0
AN0	550	없음	0.0
AN1	"	"	7.0
AN2	"	"	14.0
AN4	"	"	28.0
AN5	"	"	35.0
BL1	180	있음	7.0
BL2	"	"	14.0
BL4	"	"	28.0
BM1	400	있음	7.0
BM2	"	"	14.0
BM4	"	"	28.0

경계면에 수직 방향으로 정하여진 축압이 일정하게 작용하는 상태에서 경계면에 나란한 방향으로 전단력이 가력되면서 전단 강도와 변형을 측정하게 된다. 이 시험체에서는 그림 2에서 보이는 바와 같이 전단면에 포함된 시험체의 외부 벽체에 힘의 균등한 분포를 위하여 두께 22mm의 강판이 부착되고 양면에 유압재과 로드셀이 4개의 $\phi 24$ 강봉에 의하여 설치된다. 이 유압재과 로드셀은 각각 축압의 가력면과 반력면이 되어 유압재에 의하여 소정의 축압이 가력

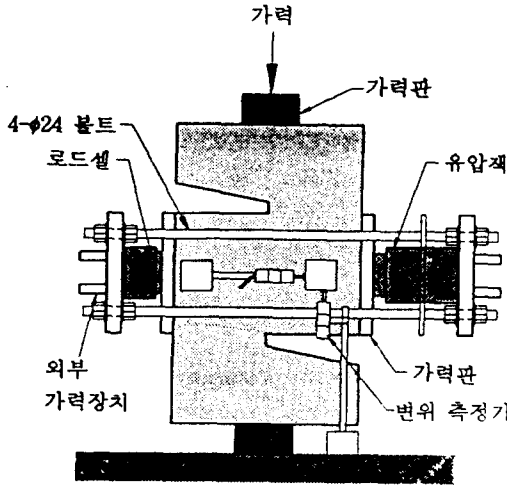


그림 2 실험 장치

된 후 시험체 상부의 가력판을 통하여 전단력을 0.5 톤의 증분으로 분당 약 5~10 kg/cm²의 재하속도로 가력하면서 전단 변형과 벌어짐 변형을 측정하고 균열의 전파됨을 조사하게 된다. 변형 측정에는 그림 2에 보이는 바와 같이 4개의 자동 변위측정기(LVDT)가 사용되었다.

3 실험 결과

3.1 전단응력-전단변위 관계

전단시험체에서 측정된 각 시험체의 파괴시 하중과 응력 및 변위 등을 요약하면 표 3과 같으며, 전단응력-전단변위 관계는 그림 3과 같다.

파괴시 시험체의 전단응력은 예상한 바와 같이 축압의 증가에 따라 큰 값으로 나타나고 있으며, 변위도 증가하고 있다. 콘크리트의 압축강도가 증가하면 그에 따라 전단응력도 증가하고 있으나 선형 비례는 하고 있지 않으며, 전단응력이 압축강도의 제곱근에 비례하는 것과 비슷한 증가율을 보이고 있다.

3.2 균열 및 파괴 형태

1) A 계열 시험체

초기 균열이 없는 A계열 시험체에서는 전단력의 증가에 따라 전단 경계면의 중앙

표 3 파괴시 시험체의 하중 및 변위

시험체	하중 (ton)	전단강도 (kg/cm ²)	균열폭 (mm)	전단변위 (mm)
AL0	11.60	38.70	0.104	0.393
AL1	12.80	42.70	0.110	0.660
AL2	16.35	54.50	0.205	0.845
AL4	21.60	72.00	0.205	1.845
AL5	23.15	77.17	0.047	2.301
AM0	18.30	61.00	0.081	0.530
AM1	21.55	71.80	0.085	0.485
AM2	24.60	82.00	0.240	0.945
AM4	32.30	107.70	0.215	1.510
AM5	36.95	123.17	0.446	1.601
AN0	20.00	66.67	0.077	0.413
AN1	24.55	81.83	0.185	0.485
AN2	27.60	92.00	0.205	0.920
AN4	36.85	122.80	0.615	1.520
AN5	43.45	144.80	0.355	1.897
BL1	8.050	26.83	0.240	0.880
BL2	15.25	50.80	0.195	1.590
BL4	20.15	67.17	0.135	0.885
BM1	15.05	50.17	0.285	1.100
BM2	21.48	71.60	0.574	1.615
BM4	30.40	101.38	0.690	2.010

부에 미세한 균열이 발생하여 위 아래로 진전되면서 파괴되는 양상을 나타내었다. 7.0 kg/cm²이하의 축압이 작용하는 상태에서는 중앙부에 발생한 균열이 빠른 속도로 진전하면서 취성(脆性)모드를 보였다.

2) B계열 시험체

초기 균열을 가진 B계열 시험체에서는 7 kg/cm² 이상의 축압상태에서 전단력이 가력되었으며, 전단파괴는 초기 균열면을 따라 발생하였고, 어떠한 경사균열도 발생하지 않았다. 시험체에 변형이 생기면, 하중의 증가에 따라 변형의 증가율은 더 커졌다. 축압이 낮은 상태에서는 B계열 시험체가 A계열 시험체보다 낮은 전단응력상태에서 파괴되었으나, 축압이 28 kg/cm² 이상인 시험체에서는 B계열 시험체의 파괴하중이 A계열 시험체와 비슷한 값으로 나타나, 매트크의 시험에서 관찰된 현상이 확인

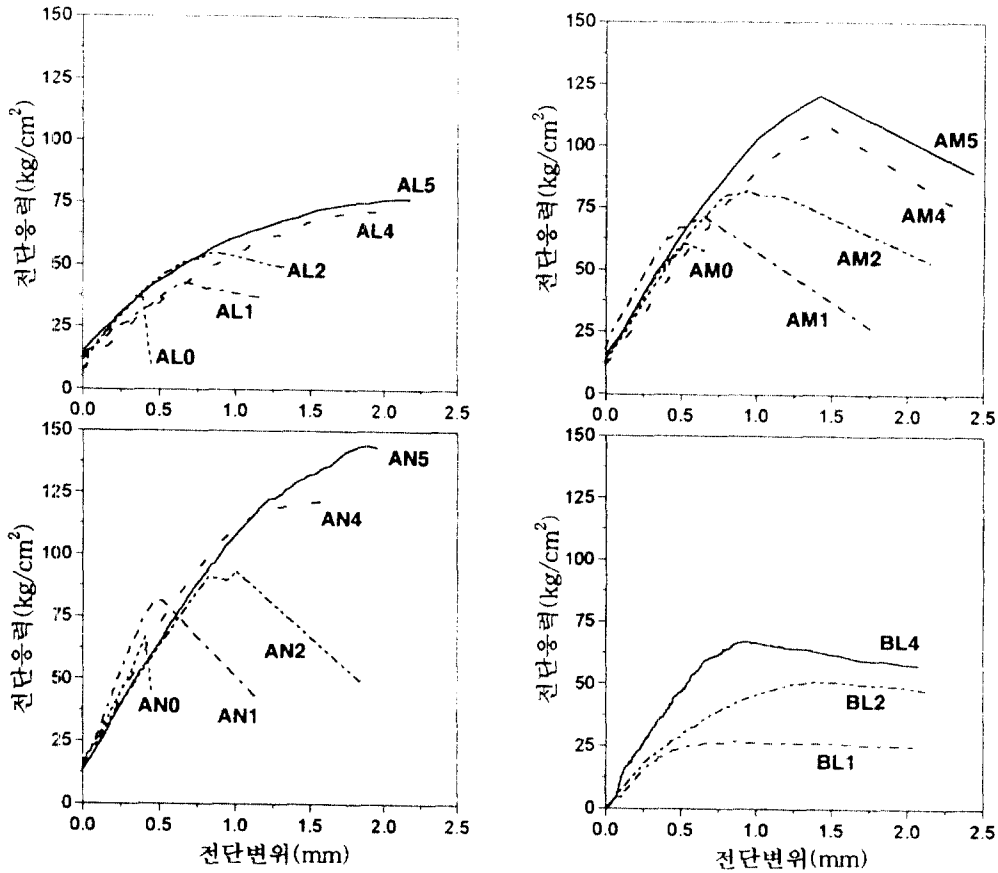


그림 3 전단응력-전단변위 그래프

됐으며, 파괴시 중앙부 균열 주위의 콘크리트의 들뜸 현상이 관찰되었다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 축압의 영향

경계면에서 콘크리트의 전단전달에 대한 축압의 영향은 3축 압축상태에서 축압에 대한 축압의 영향과 비슷하게 작용하여, 축압의 증가와 함께 전단응력은 증가하고 있다. A계열 시험체에서는 그림 4에서 보는 바와 같이 여러가지 압축강도를 가진 시험체가 모두 축압의 증가에 따라 거의 선형으로 증가하고 있으나, 초기균열이 있는 B계열 시험체에서는 축압이 7 kg/cm^2 에서 14 kg/cm^2 까지는 비교적 큰 기울기로 상승하여 그 이후의 축압에서 A계열 시험체와 유사한 선형 증가를 보이고 있고, 28 kg/cm^2

의 축압에서는 A계열 시험체와 B계열 시험체의 전단응력은 거의 비슷한 값을 보이고 있다.

4.2 전단변위와 균열폭의 비교

전단면에서 파괴되는 콘크리트 부재는 골재의 맞물림 작용에 의하여 전단변형과 함께 균열의 벌어짐을 나타낸다. 그러한 전단변위와 균열폭의 비교에서 대부분의 A계열 시험체는 그림 5에 보이는 바와 같이 압축강도에 관계없이 비교적 일정한 관계를 가진 것으로 나타났다. AL계열의 시험체에서는 그림 6에서, 축압의 증가와 함께 전단변위에 대한 균열폭이 축압의 영향으로 크게 줄어 들고 있다.

전단응력과 전단변형도의 비선형성에 대한 고찰에서, 그림 7은 AL2, AM2 및 AN2

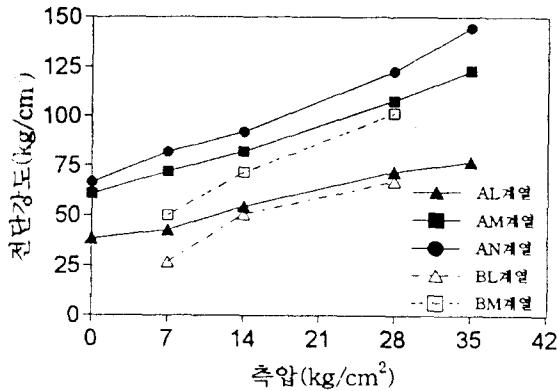


그림 4 축압의 영향에 관한 곡선

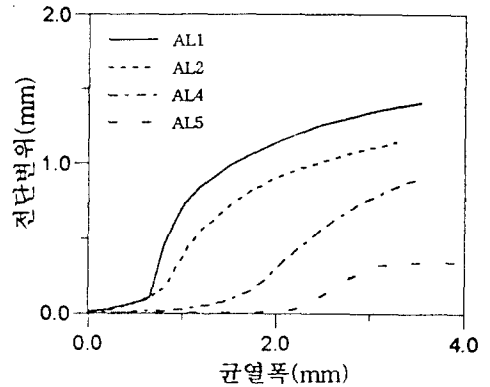


그림 6 축압에 따른 변위 비교 곡선

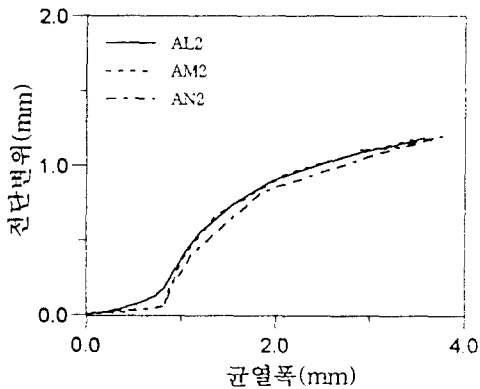


그림 5 압축강도에 따른 변위 비교 곡선

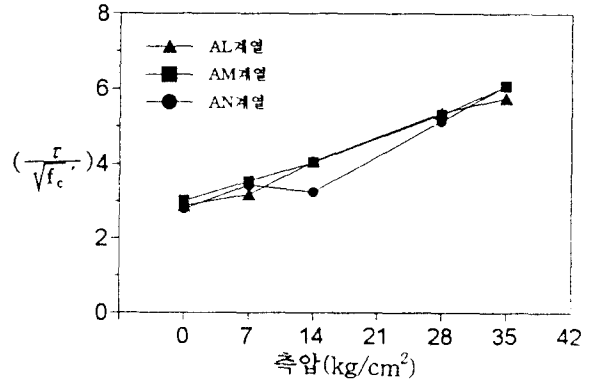


그림 7 전단응력-전단변위 곡선

시험체의 전단응력과 전단변위의 관계를 각각 파괴시의 값에 대하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 τ 와 s 는 시험체의 전단응력 및 전단변위이며, τ_u 와 s_u 는 파괴시의 극한 값이다. 그림 7에 보이는 실선은 타시오스(Tassios)의 제안식

$$\frac{s}{s_u} = 0.7 \left(\frac{\tau}{\tau_u} \right)^3 \quad (1)$$

에 의한 곡선이며, 실험에 의한 전단응력-전단변위는 타시오스의 제안식에 비하여 완만하게 나타나고 있다.

4.3 회귀분석

경계면에서 콘크리트의 전단전달은 콘크리트의 압축강도와 골재의 맞물림 작용에 의하여 이루어지며, 이 중에서 콘크리트의 압축강도에 의한 전단응력은 압축강도의

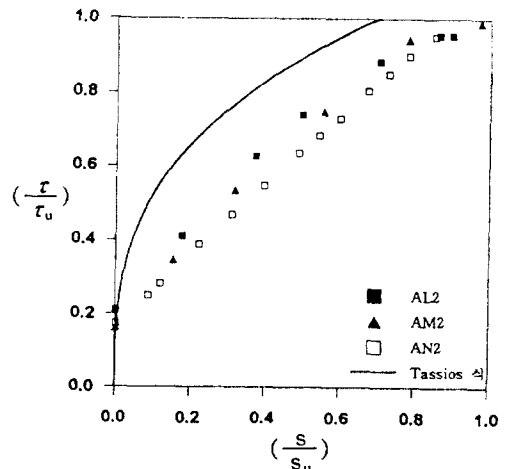


그림 8 $\frac{r}{\sqrt{f_c}}$ - 축압 곡선

제공근에 비례하는 것으로 알려져 있다. 초기균열이 없는 A계열 시험체의 파괴시 전단응력을 $\sqrt{f_c}$ 으로 나눈 값은 축압에 따라

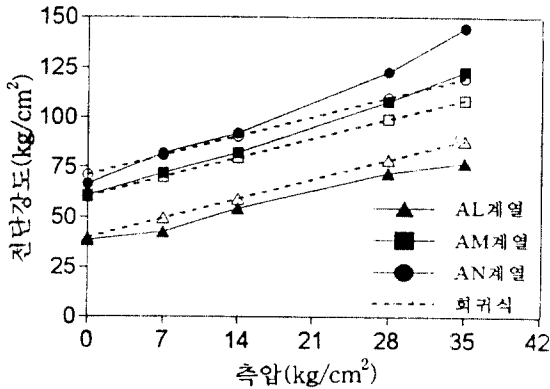


그림 9 실험값과 회귀값의 비교 그래프

그림 8과 같이 거의 선형 증가를 보인다. 이 그림에서 축압은 콘크리트의 압축강도에 의한 전단력 지지에는 거의 영향을 끼치지 않으며, 맞물림 작용에 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. A계열 시험체의 시험결과를 단순 회귀분석한 결과 축압이 작용하는 상태에서 경계면 콘크리트의 전단강도에 대한 회귀 방정식은

$$\tau_u = 2.98\sqrt{f'_c} + 1.38 \sigma_c \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2)$$

으로 유도되었다. 이 식에서 f'_c 은 콘크리트의 압축강도, σ_c 는 축압이다. 식 (2)의 축압에 대한 상수 1.38은 전단마찰설계에서 사용되는 보통 콘크리트의 마찰계수 1.4에 매우 가깝게 유도되었다. A계열 시험체의 파괴시 전단응력과 식(2)의 값을 비교하면 그림 9와 같다.

5 맺음말

이 연구는 콘크리트의 전단전달에 대한 축압의 영향을 실험적으로 연구한 것으로서, 콘크리트의 강도와 축압을 주요변수로 하여 초기균열이 없는 시험체와 초기균열을 가진 시험체에 대한 전단실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 축압의 증가에 따라 초기균열이 없는 시험체의 전단강도는 거의 선형으로 증가하며, 초기균열이 있는 시험체의 전단강도는, 축압 14 kg/cm²이상에서 선형으로 증가한다.

- (2) 전단강도에 관련하여 축압은 콘크리트의 압축강도에는 거의 무관하며, 전단면에서 골재의 맞물림작용에 큰 영향을 끼친다.
- (3) 회귀분석 결과 경계면 전단에서 콘크리트의 전단강도는 압축강도에 대하여 $2.98\sqrt{f'_c}$, 축압에 대하여 1.38의 비례상수로 분석되어 매토크의 실험결과에 유사한 값을 보이고 있다.
- (4) 전단응력-전단변위의 비교에서는 타시오스의 제안식에 대하여 완만한 곡선으로 나타나고 있다.

감사의 글

이 연구는 두번째 저자에 대한 인하대학교 지원 연구비에 의하여 수행된 것으로, 학교당국의 지원에 감사하는 바이다.

참고문헌

- Hofbeck, J. A., Ibrahim, I. A., and Mattock, A. H., "Shear Transfer in Reinforced Concrete", ACI, Vol. 66, No. 2, Feb. 1969, pp. 119-128.
- Paulay, T., "Shear Transfer by Aggregate Interlock", ACI SP-42, Vol. 1, Detroit, 1974, pp. 1-15.
- Tassios, T. P., and Vintzeleou, E. N., "Concrete-To-Concrete Friction", J. of Str. Eng., ASCE, Vol. 113, No. 4, Apr. 1987, pp. 832-849.
- Buyukozturk, O., Bakhoun, M. M., and Beattle, S. M., "Shear Behavior of Joints in Precast Concrete Segmental Bridges" J. of Eng. Mech., ASCE, Vol. 116, No. 12, 1990, pp. 3380-3402.
- Walraven, J. C., "Fundamental Analysis of Aggregate Interlock" J. of Str. Eng., ASCE, Vol. 107, No. ST11, Nov. 1981, pp. 2245-2270.