

철근 콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구 (II)

An Experimental Study on the Dowel Action in Reinforced Concrete Members(II)

김 성 훈* 신 장 호** 김 상 식***
Kim, Sung Hun Shin, Jang Ho Kim, Sang Sik

ABSTRACT

Following the previous research(7), a total of forty six specimens were tested to scrutinize the dowel action of reinforcing bars. Concrete cover, width of specimen and reinforcing bar size were taken as main test variables for constant compressive strength of concrete. based on the observation of the test results, the characteristic effects of the test variables on the dowel strength have been analyzed.

1. 머리말

철근 콘크리트 부재의 접합부에서 생기는 철근의 장부작용은 매우 중요한 전단력 전달 기구이다. 보와 기둥, 슬래브와 보, 기둥의 상하간 콘크리트 이어치기면, 슬래브의 이어치기 부분, 프리캐스트 콘크리트 접합면 등에서는 철근의 장부작용을 통하여 부분적으로 전단력에 저항하고 있다. 철근의 장부작용은 피복두께, 콘크리트강도, 철근직경, 철근간격, 스테럽, 부재의 폭 등에 영향을 받는 것으로 보고되어 있으며, 이들 변수를 조합한 많은 실험적인 연구가 요구되고 있다.

이 연구는 철근의 장부작용에 대하여 실험적으로 분석하여 이에 적합한 모델을 제시하기 위한 실험계획의 일환으로 피복두께, 콘크리트 강도, 철근직경 및 부재의 폭을 주요변수로 하여 실험하였으며, 변수에 따른 영향을 고찰하였다.

2. 시험체의 형태 및 실험장치

2.1 시험체의 형태

- * 인하대학교 건축공학과 석사과정
- ** 정희원, 인하대학교 건축공학과 박사과정
- *** 정희원, 인하대학교 건축공학과 교수, 공박

시험체는 사진 1, 사진 2와 같이 폭 10cm~60cm, 길이 40cm, 높이 20cm 또는 30cm의 직육면체이며, 철근은 폭의 중앙에 위치한 시험체와 철근의 오른쪽 끝면에서 10cm 및 20cm에 위치한 시험체로 제작하였다. 실험변수는 콘크리트 피복두께 3종류, 철근직경 2종류, 시험체의 폭 6종류 및 콘크리트 압축강도 1종류로 하여 36개의 변수에 대한 구조거동을 조사했으며, 전체 46개의 시험체를 제작하였다.

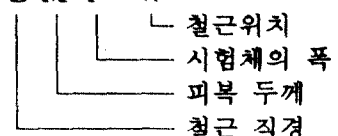
실험 변수는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 피복두께 : 3cm, 6cm, 9cm
- 2) 철근직경 : D16, D22
- 3) 콘크리트 압축강도 : 300 kg/cm²
- 4) 시험체의 폭 : 10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 60cm

철근은 SD40 재질의 KS규격품을 사용했으며, 콘크리트 배합 및 압축강도의 평균치는 표1과 같고, 시험체 기호상세는 다음과 같다.

1) 시험체 기호

B M 4 - W



2) 시험체 기호상세

- ① 철근 : A,B
(A = D16 , B = D22)
- ② 피복두께 : L , M , N
(L=3cm, M=6cm, N=9cm)
- ③ 시험체의 폭 : 1, 2, 3, 4, 5, 6
(1=10cm~6=60cm)
- ④ 철근위치 : V, W, X, Y, Z
(V=20-10cm,W=30-10cm,
X=40-10cm,Y=30-20cm,
Z=40-20cm)

표 1. 콘크리트의 배합비 및 압축강도

설계강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	중 량 비 (kg/m ³)				압축강도 (kg/cm ²)
		물	시멘트	모래	자갈	
240	51.1	183	358	793	977	300

2.2 시험장치

시험체는 사진 1에 보이는 바와 같이 시험체의 밑 부분은 매립된 볼트로 고정시키고, 인장가력장치에 의하여 장부력이 가력되는 동안 철근의 휨을 방지하기 위하여, 수평방향에 설치되어있는 철근 고정장치에 긴결하였으며, 철근 고정장치의 양단은 힌지로 연결되어있다. 장부력 측정은 유압잭에 의하여 가력되어 로드셀에 의하여 전달되도록 장치하였고, 변위측정을 위하여 자동변위계 및 자동변형을 측정기를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 장부력과 변위

그림 1에 나타난 바와 같이 모든 시험체가 초기균열까지는 물론, 파괴(취성)하중에 이르기까지 거의 탄성거동을 하였고, 그 이후의 비탄성거동에서 피복두께가 3cm인 시험체는 완만한 곡선을 이루었으나, 피복두께가 클수록, 시험체의 폭이 넓을수록, 철근직경이 작을수록 하중은 더욱 급격히 저하되는 것으로 나타났다. 시험체의 초기 균열하중과 파괴하중 및 변위는 표 2 와 같다.

3.2 균열과 파괴형상

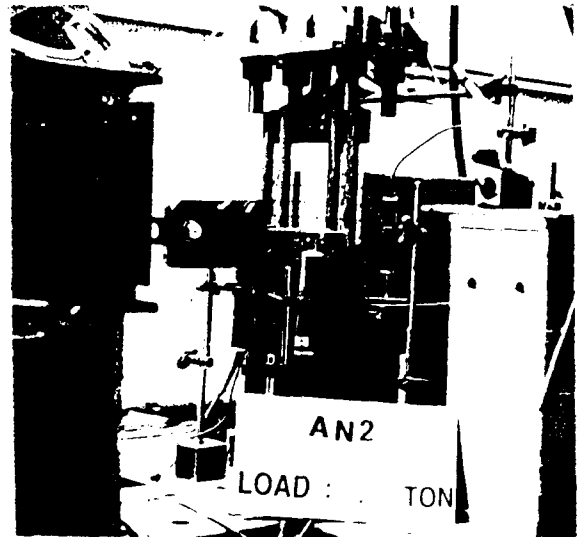


사진 1. 시험체의 가력 및 측정장치

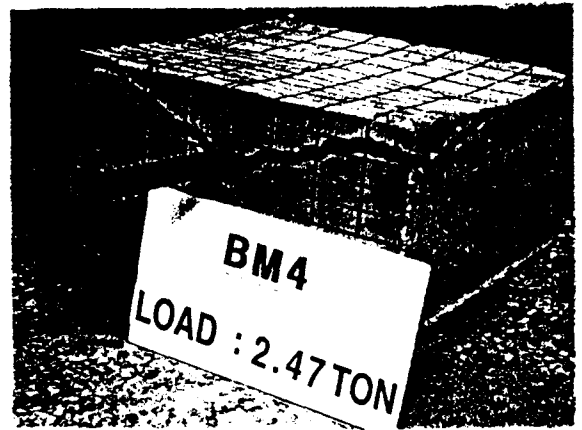


사진 2. 시험체의 파괴양상

모든 시험체는 정면 철근을 기준하여 좌측, 우측 또는 수직으로 초기균열이 발생하여 시험체의 윗면 또는 양 옆면에서 위쪽으로 균열이 전파되면서 약간의 파쇄음과 함께 파괴되었으며, 정면의 균열은 철근직경이 클수록 완만하게 수평에 가깝게 발생하였다.

수직균열은 폭이 20cm~60cm인 거의 모든 시험체에서 발생하였으며, 하중이 증가함에 따라 정면에는 철근까지, 윗면은 철근을 따라 전파되었고, 윗면의 균열길이는 D16철근을 사용한 시험체보다 D22 폭이 더 길게 나타났다. 윗면 파괴형상은 다양하며, 특히 철근위치가 시험체의 우측에서 좌측으로 10cm, 20cm 에 위치한 모든 시험체가 거의 직각 삼각형 형태를 이루었다. 균열형태는 사진 2와 같다.

표 2. 시험체의 초기균열하중과 파괴하중 및 변위

시험체	초기균열하중		파괴 하중		시험체	초기균열하중		파괴 하중	
	하중 (ton)	변위 (mm)	하중 (ton)	변위 (mm)		하중 (ton)	변위 (mm)	하중 (ton)	변위 (mm)
AL1			0.78	0.64	AL3-V	0.68	0.32	0.97	0.67
AM1			1.01	0.78	AM3-V	1.30	0.59	1.86	0.93
AN1			1.51	0.91	AN3-V	2.00	1.59	2.40	2.33
BL1			0.84	0.38	BL3-V	0.75	0.71	1.21	1.18
BM1			1.24	0.66	BM3-V	1.00	0.75	2.25	1.99
BN1			1.13	0.48	BN3-V			2.48	2.13
AL2	0.63	0.40	1.09	0.90	AM4-W	0.90	0.61	2.21	1.39
AM2	1.42	0.76	1.98	1.08	AN4-W	1.67	1.09	2.70	2.84
AN2	1.30	0.79	2.68	2.09	BM4-W	1.85	0.84	2.44	1.39
BL2	1.00	0.59	1.27	0.81	BN4-W	2.00	0.38	2.30	0.52
BM2	1.80	1.00	2.08	1.22					
BN2			1.90	1.75					
AL3	0.40	0.24	0.99	0.86					
AM3	1.34	0.79	2.16	1.53	AN5-X	1.50	1.25	2.66	2.22
AN3	3.20	3.75	3.46	4.55	BN5-X	1.20	0.65	2.43	1.25
BL3	1.00	0.75	1.51	1.23					
BM3	1.80	1.30	2.43	1.81					
BN3			3.70	2.72					
AM4	1.21	0.61	2.03	1.42	AM5-Y	1.45	0.29	2.37	0.57
AN4	2.20	0.85	3.43	2.72	AN5-Y	1.55	0.97	3.25	5.47
BM4	1.23	0.45	2.47	1.29	BM5-Y	1.20	0.54	2.67	1.50
BN4	2.30	0.98	3.80	2.14	BN5-Y	1.12	0.80	3.57	2.20
AM5	1.33	0.70	2.45	1.73					
AN5	1.35	0.87	3.25	3.31	AN6-Z	2.10	1.48	3.30	2.73
BM5	1.70	0.95	2.88	2.23	BN6-Z	2.54	1.36	4.02	2.22
BN5	1.95	0.93	4.47	2.48					
AN6	1.52	0.82	3.70	3.98	X1(D22)	2.70	1.06	3.43	1.52
BN6	2.40	1.40	4.19	2.71	X2(D16)	2.88	2.21	3.23	3.02

3.3 실험결과의 고찰

그림 2, 그림 3, 그림 4는 장부작용의 주요 변수인 피복두께, 철근직경, 시험체폭에 대한 장부력과 비교한 그림이며 각 변수의 영향은 다음과 같다.

3.3.1 피복두께의 영향

Vintzeleou 와 Tassios에 의하면 피복두께가 철근직경의 6~7배 이상일 때는, 콘크리트의 압괴와 철근의 항복에 의하여 파괴되고, 그 이하일 때는 콘크리트의 할열에 의해 파괴되는

것으로 보고되었으며, 이 연구에서는 모든 시험체의 피복두께가 철근 직경의 6~7배 이하이므로 콘크리트의 할열에 의해서 파괴되었다. 그림 2에 나타난 바와 같이 철근의 위치가 시험체의 중앙에 있고, 피복두께가 3cm, 6cm, 9cm로 증가할 때의 파괴하중은 거의 선형적으로 거동하였고, 철근위치가 20-10cm, 30-10cm, 40-10cm, 30-20cm, 40-20cm인 경우, 피복두께가 3cm에서 6cm로 증가할 때의 파괴하중은 거의 선형적으로 비례하였으나, 6cm에서 9cm로 증가하였을 때의 파괴하중은 약 20%~30% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

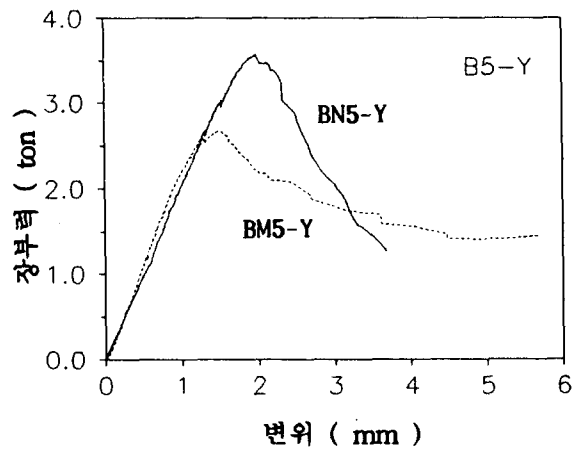
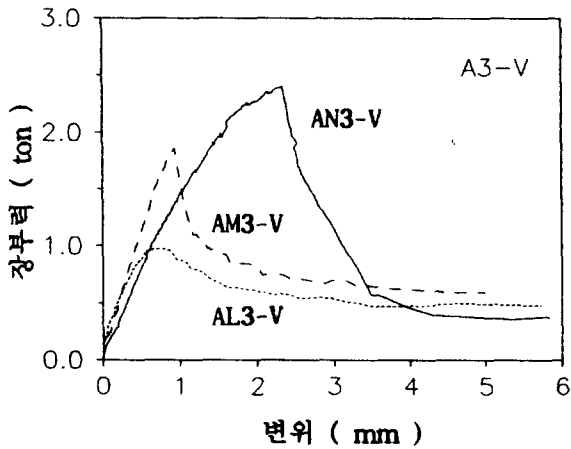
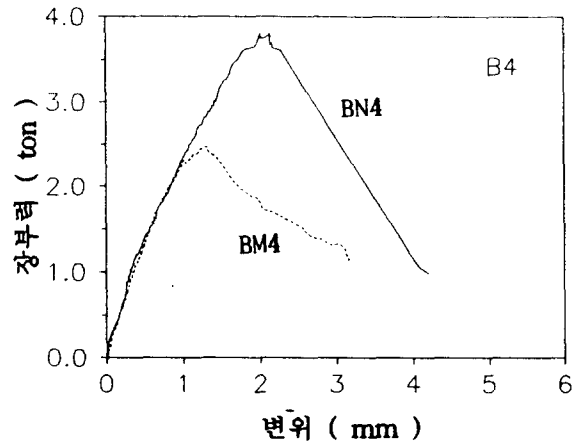
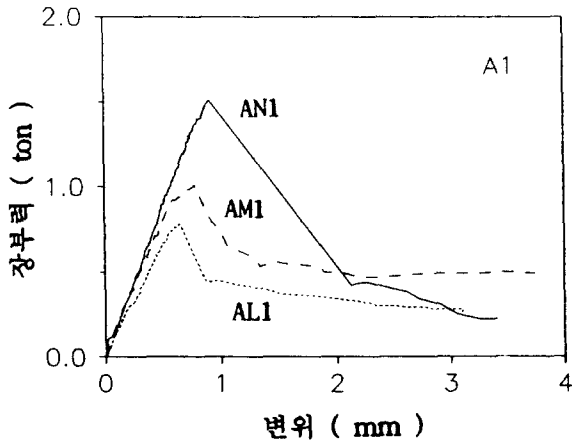


그림 1. 시험체의 장부력-변위 곡선

3.3.2 시험체 폭의 영향

철근의 위치가 시험체의 중앙에 있고, 피복 두께가 3cm이며, 폭이 10cm, 20cm, 30cm일 때 D16 철근을 사용한 시험체의 장부력은, 1 : 1.43 : 1.30으로 증가하였지만, D22 철근일 때는 1 : 1.51 : 1.79로 D16 철근일 때보다 더 증가하여, 폭의 증가에 따른 장부력은 완만하게 증가하였다. 그리고, 피복두께가 6cm이고, 폭이 10cm, 20cm일 때, D16은 95%, D22는 68%로 크게 증가하였으나, 폭이 30cm, 40cm, 50cm 일 때는 5%~32%의 적은 폭으로 증가하였다. 또한, 피복두께가 9cm이고, 폭이 10cm, 20cm, 30cm일 때 D16 및 D22 철근의 장부력은 55%~164%로 크게 증가하였으나, 폭이 40cm, 50cm, 60cm일 때는 9%~60%의 범위로 증가 하였다.

철근위치가 중앙이 아닌 시험체의 장부력은 폭의 증가에 따라 완만한 증가를 보였다.

각 시험체의 정면과피형태를 관찰한 결과, 이 실험의 범위 내에서 최대 장부력을 유발할 수 있는 시험체의 유효폭은 피복두께가 3cm, 6cm, 9cm일 때 각각 40cm, 60cm, 70cm 일 것으로 예측할 수 있다.

3.3.3 철근직경의 영향

시험체의 폭이 10cm, 20cm이고 피복두께가 3cm, 6cm일 때 철근직경의 장부력은 6%~23%의 범위로 근소한 증가를 보였고, 시험체의 폭이 30cm, 40cm, 50cm 일때는 피복두께에 관계없이 철근직경이 증가함에 따라 장부력은 6%~38%의 범위로 증가하였으며, 피복 두께가 3cm이고, 폭이 30cm일 때의 장부력은

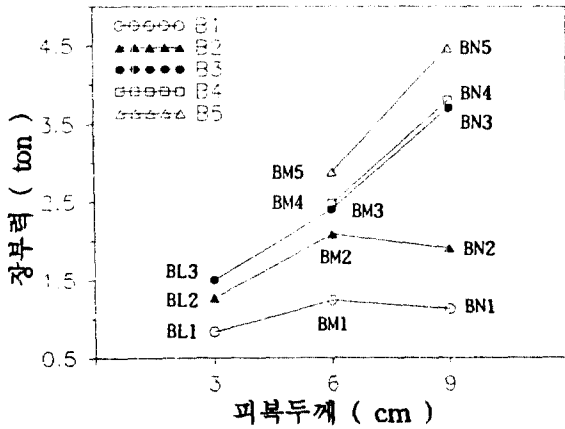


그림 2. 피복두께에 따른 장부력의 비교

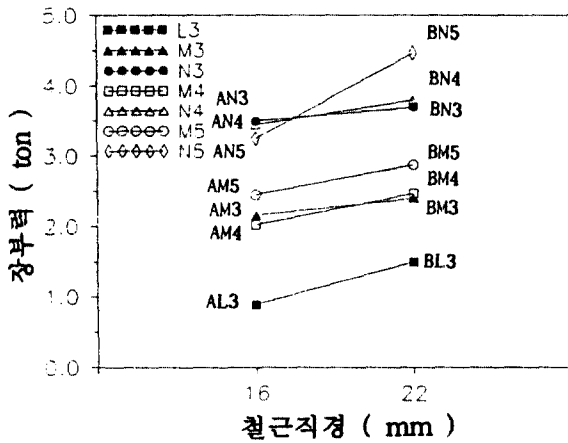
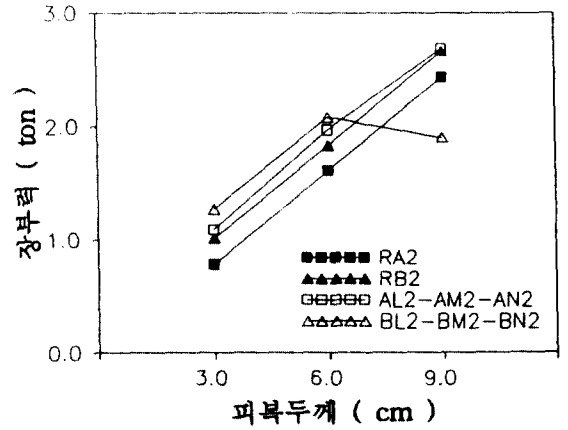


그림 3. 철근직경에 따른 장부력의 비교

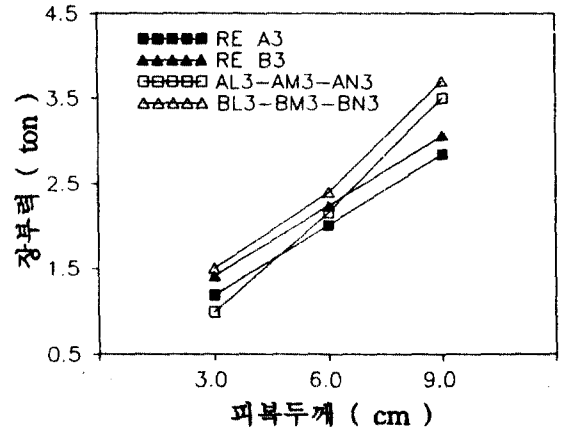


그림 5. 실험결과와 회귀분석과의 비교

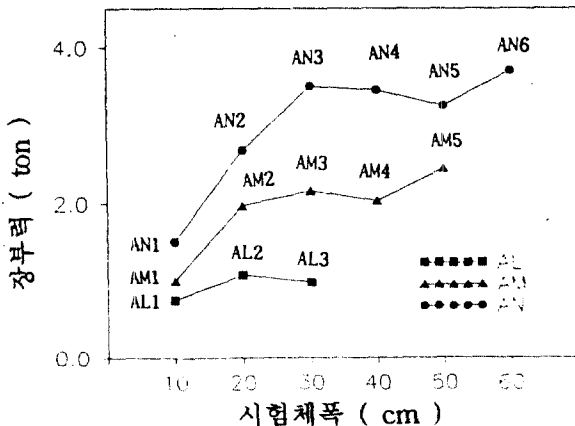


그림 4. 시험체폭에 따른 장부력의 비교

52%의 현저한 증가를 보였다.

시험체의 폭이 30cm, 40cm이고 철근위치가 20-10cm, 30-10cm이며 피복두께가 3cm, 6cm 일 때 철근직경이 증가함에 따라 11%~24%의 범위로 장부력이 증가하였고, 피복두께가 9cm 이고 폭이 20-10cm일 때의 장부력은 거의 증가하지 않았으며, 시험체의 폭이 50cm, 60cm 이고 철근위치가 40-10cm, 30-20cm, 40-20cm 인 모든 시험체는 10%~21%의 범위로 장부력이 증가하였다.

이는 철근직경이 클수록 장부력이 증가함을 알수있으며, 그 증가율은 피복두께, 시험체의 폭, 콘크리트의 압축강도등에 비하여, 현저하게 적은 것으로 나타났다.

3.4 실험결과와 회귀분석과의 비교

회귀분석은 이 연구와 이전의 연구(문헌 6 및 7)에서의 시험체 24개의 실험결과를 포함하여, 52개의 시험체를 대상으로 하였으며, 회귀식은 다음과 같다.

$$F_t = -2675 + 4b + 28c + 37d + 400f_c' \dots (1)$$

식 (1)에서, b는 시험체의 폭(mm), c는 피복 두께(mm), d는 철근의 직경(mm), f_c' 는 콘크리트의 압축강도(kg/mm^2)이며, F_t (kg)는 파괴 하중이다.

분석된 결과에서 파괴하중의 변동에 대한 독립변수들의 설명력을 나타내는 수정된 R^2 는 82.73%로 높은 편이고, 모형의 적합도를 나타내는 F값은 62.07로서 전체적으로 유의적임을 알수있으며, 각 변수들의 계수를 보면 피복두께, 시험체의 폭, 콘크리트 압축강도 순으로 유의적이지만 철근직경은 유의적이지 못하다.

그림 5는 실험결과와 회귀분석값을 비교한 그림으로 비교적 실험결과에 근접하고 있다.

4. 맺음말

이 연구는 철근 콘크리트 부재의 장부작용에 관한 기초적 연구로서, 한 개의 철근을 콘크리트에 매립한 블록 시스템으로 제작하여 장부력에 영향을 미치는 피복두께, 철근직경, 시험체의 폭, 콘크리트의 압축강도를 주요변수로 하여 실험한 것으로, 분석된 결과는 다음과 같다.

- (1) 철근에 피복된 콘크리트의 피복두께는 철근직경과 부재의 폭에 관계없이 철근의 장부작용에 의한 콘크리트의 할열강도에 거의 선형적으로 비례한다.
- (2) 철근의 장부력에 대한 부재 폭의 영향은 피복두께가 3cm일 때의 장부력은 시험체폭의 증가에 따라 완만하게 증가하지만, 피복두께가 6cm일 때는 폭 20cm까지, 피복두께가 9cm일 때는 폭 30cm까지 크게 증가하고, 그 이상으로 폭을 증가시키면 장부력은 점점 적게 증가하는 것으로 관찰되었다.
- (3) 본 실험의 범위 내에서 각 시험체의 정면 파괴형태를 관찰한 결과, 최대 장부력을 유발할 수 있는 시험체의 유효폭은 피복두께가 3cm일 때 40cm, 6cm일 때 60cm, 9cm일 때 70cm일 것으로 예측할 수 있다.

- (4) 철근의 장부력에 대한 철근직경의 영향은 피복두께, 시험체의 폭의 영향에 비하여 현저하게 적은 것으로 관찰되었다.
- (5) 실험결과를 회귀분석값과 비교한 결과 대체로 근접하고 있다.

감사의 글

이 연구는 인하대학교 지원 연구비에 의하여 수행된 것으로 대학당국의 지원에 감사 드리는 바이다.

참 고 문 헌

1. Dei Poli, S., Di Prisco, M., and Gambarova P.G., " Shear Response, Deformations, and Subgrade Stiffness of a Dowel Bar Embedded in Concrete," ACI Str. J., V. 89, No. 6, Nov.-Dec. 1992, pp. 665-675.
2. Vintzeleou, E. N., and Tassios, T. P., "Mathematical Model for Dowel Action under Monotonic and Cyclic Conditions," Mag. Concr. Res., V. 38, No. 134, Mar. 1986, pp. 13-22.
3. Vintzeleou, E. N., and Tassios, T. P., " Behavior of Dowels under Cyclic Deformations," ACI Str. J., V. 84, No. 1, Jan.-Feb. 1987, pp. 18-30.
4. Fenwick, R. C., and Paulay, T., "Mechanisms of Shear Resistance of Concrete Beams," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 94, No. ST10, Oct. 1963, pp. 2325-2350.
5. 김상식, " 철근콘크리트 구조설계," 문운당, 1993.
6. 박송철, 신장호, 김상식, " 철근콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구," 한국 콘크리트 학회 학술발표 논문집 제 5권 제 2호, 1993.10, pp. 250-255.
7. 박송철, " 철근콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구," 인하대학교 대학원 석사학위 청구 논문, 1994. 2.