

# 고강도 철근콘크리트 부재에서 철근의 장부작용에 대한 구조변수의 영향

## Influence of Structural Parameters on the Dowel Action of Reinforcing Bar in Reinforced High Strength Concrete Members

최 도 수\*                      신 장 호\*\*                      김 상 식\*\*\*  
Choi, Do Soo                      Shin, Jang Ho                      Kim, Sang Sik

### ABSTRACT

This study is aimed at the experimental investigation of the influence of the structural parameters such as concrete cover, width of specimen and bar size on the dowel action of reinforcing bar in high strength concrete members. Based on the proper combination of these parameters, a total of 46 specimens has been cast for  $f_c' = 500 \text{ kg/cm}^2$  and another 46 specimens for  $f_c' = 700 \text{ kg/cm}^2$ , and cured at the laboratory. Comparative analyses have been made for the parametric contribution to the dowel strength from the test results, and a regress equation has been suggested.

### 1. 머리말

철근콘크리트 구조체에서 철근의 장부작용은 매우 중요한 전단력 전달기구 중의 하나이다. 장부작용에 의한 전단력 전달이 현저하게 고려되어야 하는 부분은 수평하중을 받는 골조에서 기둥과 보의 접합부, 보의 휨-전단 균열면, 합성보의 전단 연결재, 프리캐스트 콘크리트 부재의 수직 접합부의 루프근, 철골보를 철근콘크리트 벽체에 접합할 때 벽체에 매입된 볼트 등을 들 수 있다.

철근의 장부작용에 영향을 미치는 요소로는 콘크리트의 피복두께, 콘크리트강도, 시험체의 폭, 철근의 지름과 단면적, 철근의 인장강도, 철근과 콘크리트의 부착강도 등이며, 장부작용에 의한 전단력 전달의 효율적인 설계

를 위하여서는 이러한 구조변수들의 영향에 대한 실험적인 연구가 요구되고 있다.

이 연구에서는 고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 구조체에서 콘크리트 피복두께, 콘크리트 강도, 시험체폭, 철근지름을 주요 변수로하여 철근의 장부작용에 미치는 영향과 파괴형태를 고찰하였고, 이에 적합한 모델을 회귀분석에 의하여 제안하고자 한다.

### 2. 시험체 및 실험장치

#### 2.1 시험체의 형태

시험체의 형태는 그림 1과 같이 폭 10cm~60cm, 길이 40 cm, 높이 20 cm와 30cm의 직육면체이며, 철근은 시험체의 중앙에 매립된 시험체와 편심의 위치에 매립된 시험체로 제작하였다. 시험체는 압축강도  $460 \text{ kg/cm}^2$ (F500) 및  $624 \text{ kg/cm}^2$ (F700)에 대하여 각각 46개씩 92개가 인하대 건축과 구조 실험실에서 제작되

\* 인하대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정희원, 인하대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정희원, 인하대학교 건축공학과 교수, 공박

었다. 시험체의 실험변수와 상세는 다음과 같으며, 괄호안은 시험체 기호이다.

- 1) 피복두께: 3cm(L), 6cm(M), 9cm(N)
- 2) 압축강도: 460kg/cm<sup>2</sup>(F500), 624kg/cm<sup>2</sup>(F700)
- 3) 철근크기: D16(A), D22(B)
- 4) 시험체 폭: 10 - 60cm(1-6)
- 5) 철근위치(b1-b2): 20-10cm(V), 30-10(W), 40-10cm(X), 30-20cm(Y), 40-20cm(Z)

실험용 철근으로는 SD40 재질의 KS 규격품이 사용되었고, 콘크리트의 배합 및 압축강도의 평균치는 표 1 및 표 2와 같다. 혼화제로는 F500 콘크리트에 피닉스와 MIT150이 시멘트에 대하여 각각 0.4 및 1.5 퍼센트, F700 콘크리트에서는 0.4 및 2.0 퍼센트 중량비로 사용되었다.

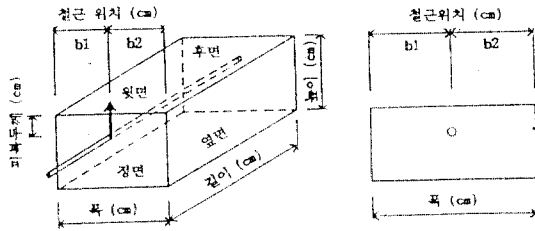


그림 1 시험체의 형태

표 1 F500 콘크리트의 배합비

w/c (%)	물 (kg/m <sup>3</sup> )	시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	모래 (kg/m <sup>3</sup> )	자갈 (kg/m <sup>3</sup> )	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
29.7	170.6	593	626	940	460

표 2 F700 콘크리트의 배합비

w/c (%)	물 (kg/m <sup>3</sup> )	시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	모래 (kg/m <sup>3</sup> )	자갈 (kg/m <sup>3</sup> )	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
25	184	736	512	951	624

## 2.2 실험장치

시험체는 그림 2에 보이는 바와 같이 시험체 하부에 매립된 볼트에 의하여 가력대에 고정된다. 장부력은 유압잭에 의하여 철근의 돌출면에 가력되어 로드셀에 의하여 전달되며, 하중과 변위는 자동변형률 측정기를 거쳐 컴퓨터에 입력하게 되어있다. 장부력이 가력되는 동안 돌출된 철근의 휨 변형을 방지하기 위하여 철근의 단부는 2중 힌지가 달린 고정장치에 연결되며, 철근에 닿는 장부 가력장치는 편심을 줄이기 위해 5mm 두께에 열처리되어 있다.

## 3. 실험결과 및 분석

그림 3에 나타난 바와같이 F500시리즈 및 F700시리즈의 모든 시험체가 파괴하중에 이르기까지 거의 탄성거동을 하였으나, F500시리즈 및 F700시리즈의 AN3, AN4, AN6, AN4-W, AN5-Y, AN6-Z 시험체는 철근이 먼저 항복하였다. 파괴 이후의 거동은 피복두께가 3cm인 시험체는 거의 모든 시험체가 완만한 곡선을 이루었으나, 피복두께가 6cm, 9cm으로 증가할수록 하중이 급격히 저하되는 것으로 나타났다.

시험체의 초기균열하중과 파괴하중 및 변위는 표 3 및 표 4와 같다.

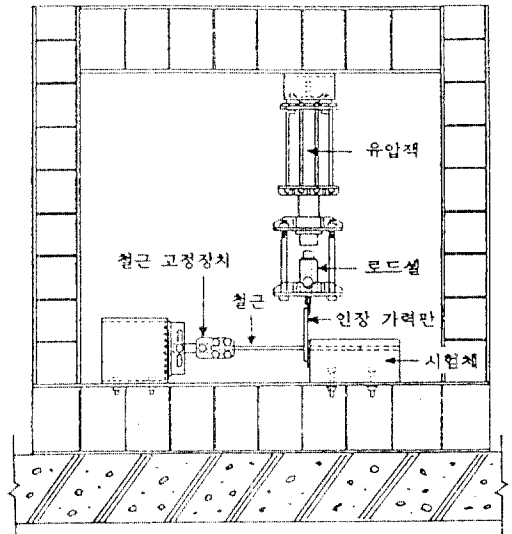


그림 2 시험체의 가력 및 측정장치

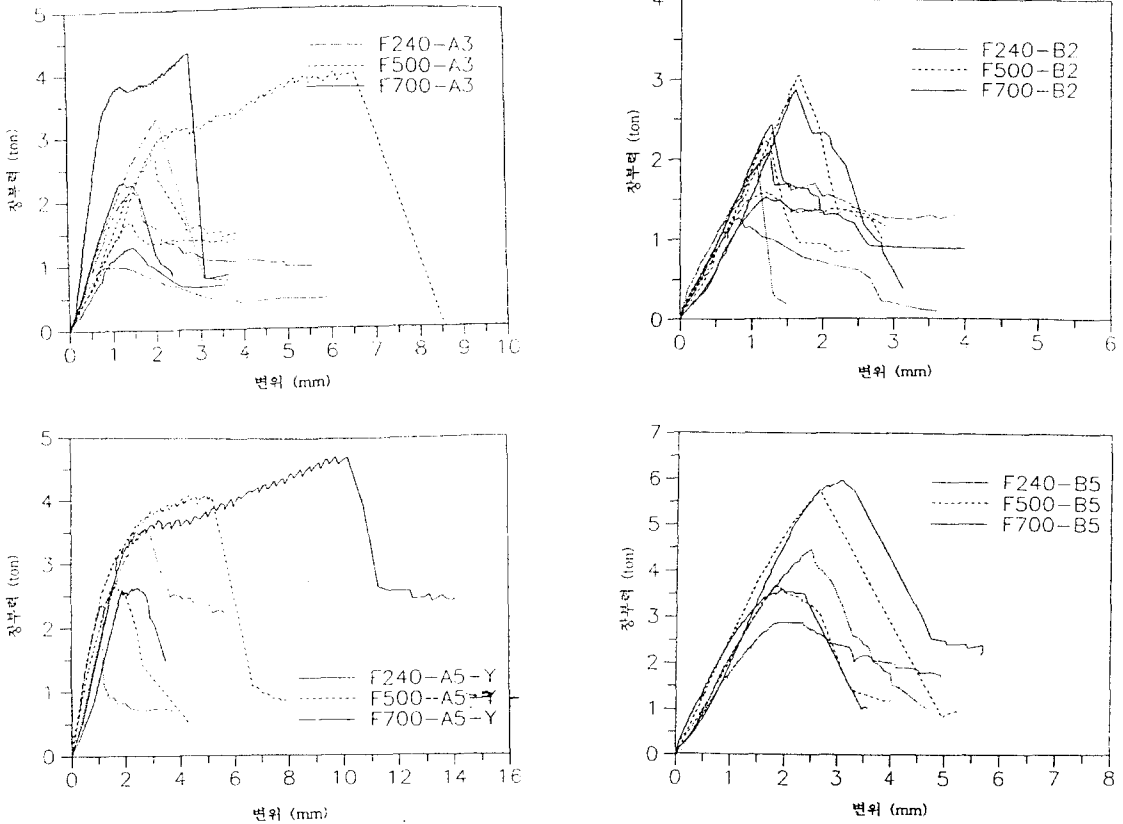


그림 3 장부력-변위 곡선

### 3.1 시험체의 균열 및 파괴형태

각 시리즈의 시험체는 모두 시험체 정면의 철근을 기준으로하여 좌측, 우측 또는 좌·우측 동시에 초기균열이 발생하여 시험체의 윗면과 한쪽 옆면 또는 양 옆면으로 균열이 전파되면서 약간의 파쇄음과 함께 파괴되었다.

정면의 균열은 정면의 철근을 기준으로 수평선에서 윗쪽으로 10 ~ 40의 범위로 파급되었고, 시험체의 폭이 작고 피복두께가 큰 시험체는 대부분 거의 수평으로 균열되었으며, 철근직경이 클수록 더욱 완만하게 균열이 발생되었다.

정면철근의 수직상단에서 발생하는 수직균열은 이미 시험된 F240 시리즈의 경우는 폭 20cm ~ 60cm 인 거의 모든 시험체에서 발생되었으나 F500의 경우 절반정도의 시험체에서만 발생되었고 F700은 폭 30cm ~ 60cm인 거의 모든 시험체에서 발생하였으며, 이 수직균열은 철근을따라 윗면으로 전파되었다. 윗면

의 파괴형상은 다양하며, 특히 철근의 위치가 정면의 우측에서 좌측으로 10cm, 20cm에 위치한 각 시리즈의 모든 시험체는 대부분 직각삼각형 형태를 이루었다.

### 3.2 실험결과의 분석

#### 3.2.1 피복두께의 영향

F240시리즈는 모든시험체가 철근이 항복하기 전에 콘크리트의 할열에 의하여 파괴되었고, F500, F700시리즈의 시험체도 대부분 철근이 항복하기전에 콘크리트의 할열에 의하여 파괴되었으나, AN3, AN4, AN5, AN6, AN4-W, AN5-Y, AN6-Z 시험체는 피복두께가 철근직경의 약 6배이하 임에도 철근이 먼저 항복하였다. 그림 4에서와 같이 피복두께가 3cm, 6cm, 9cm로 증가할 때의 장부력은 모든 시험체에서 거의 선형적으로 비례하였다.

표 3 F500 시험체의 시험결과

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	0.67	0.50	0.92	0.69	AL3-V	0.90	0.67	1.37	1.7
AM1			1.7	0.93	AM3-V	1.91	1.06	2.11	1.28
AN1			1.50	0.89	AN3-V	2.91	1.43	3.08	1.99
BL1	0.71	0.41	0.76	0.48	BL3-V	1.21	1.95	1.53	3.12
BM1			1.40	1.07	BM3-V	1.97	0.89	2.73	1.24
BN1			0.98	0.60	BN3-V	3.29	1.54	3.46	1.63
AL2	1.04	1.02	1.13	0.50					
AM2			2.12	2.47	AM4-W	2.32	1.14	2.33	1.16
AN2			2.75	1.60	AN4-W	2.35	1.31	3.53	2.98
BL2	1.30	0.90	1.59	1.31	BM4-W	2.01	1.11	2.55	1.44
BM2	1.50	0.84	2.23	1.18	BN4-W	2.09	1.05	3.18	1.89
BN2			3.06	1.65					
AL3	1.20	0.93	1.69	1.44					
AM3	2.30	1.51	2.66	2.02					
AN3	2.80	1.92	4.01	6.13	AN5-X	2.20	1.16	3.16	2.13
BL3	1.00	0.57	1.54	1.06	BN5-X	2.22	1.14	3.71	1.83
BM3	1.69	0.78	3.11	1.49					
BN3	2.34	0.97	4.27	1.50					
AM4	2.65	1.66	2.85	2.29	AM5-Y	2.07	1.10	2.70	1.70
AN4	3.21	2.08	4.17	4.36	AN5-Y	3.11	1.75	4.10	4.98
BM4	2.50	1.11	3.61	1.76	BM5-Y	1.51	0.84	3.12	1.77
BN4	4.39	1.89	4.98	2.20	BN5-Y	4.98	2.45	5.48	2.71
AM5	1.63	0.80	2.35	1.45	AN6-Z	2.81	0.99	3.90	3.21
AN5			4.21	9.72	BN6-Z	2.81	1.16	5.19	2.40
BM5	3.23	1.56	3.66	1.93					
BN5	3.30	1.32	5.73	2.66					
AN6	4.91	12.44	5.31	18.14					
BN6	3.91	1.88	5.55	2.90					

표 4 F700 시험체의 시험결과

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			0.70	0.41	AL3-V	0.90	0.50	1.25	1.08
AM1			1.12	1.04	AM3-V	1.98	0.94	2.18	1.10
AN1	1.21	1.42	1.30	1.48	AN3-V	2.22	1.71	3.71	3.02
BL1			0.96	1.06	BL3-V	0.81	0.59	1.44	1.14
BM1	1.18	0.69	1.24	0.73	BM3-V	2.11	1.07	2.36	1.36
BN1	0.50	0.32	0.85	0.56	BN3-V	2.46	1.02	3.19	1.64
AL2	1.40	0.79	1.49	0.07					
AM2	2.22	0.86	2.46	1.44	AM4-W	1.82	0.75	2.88	1.39
AN2	1.73	1.03	2.77	1.58	AN4-W	1.79	1.05	3.93	2.90
BL2	1.18	1.04	1.53	1.40	BM4-W	1.60	0.53	2.49	1.91
BM2	2.18	1.11	2.43	1.72	BN4-W	2.85	1.74	3.70	2.63
BN2	2.61	1.57	2.88	1.71					
AL3	1.00	0.91	1.29	1.48					
AM3	1.80	0.95	2.29	1.23					
AN3	2.92	0.69	4.33	2.80	AN5-X	2.23	1.53	3.66	2.40
BL3	0.91	0.84	1.60	0.76	BN5-X	2.65	0.92	3.13	1.78
BM3	2.60	1.00	2.87	1.23					
BN3	2.61	1.27	4.39	2.11					
AM4	2.20	1.23	2.92	1.79	AM5-Y	2.00	1.71	2.62	2.71
AN4	2.10	1.07	4.55	7.57	AN5-Y	2.31	1.35	4.71	9.73
BM4	2.10	0.84	3.32	1.65	BM5-Y	1.80	0.81	3.49	1.95
BN4	2.21	0.91	4.97	2.34	BN5-Y	4.40	2.40	5.16	3.02
AM5	1.81	1.00	3.05	1.94					
AN5	2.40	1.36	5.20	17.67	AN6-Z	1.90	1.00	4.76	7.72
BM5	1.81	0.69	3.59	1.98	BN6-Z	2.20	0.85	4.81	2.42
BN5	3.54	1.59	5.98	3.05					
AN6	2.47	2.01	4.91	9.68					
BN6	3.16	1.42	5.98	3.24					

### 3.2.2 콘크리트강도의 영향

장부력에 대한 콘크리트 강도의 영향은 그림 5에서와 같이 완만한 증가형태로 나타나, 철근의 장부력은 콘크리트의 압축강도보다 압축강도의 제곱근, 즉 인장강도에 비례하는 것으로 관찰되고 있다.

### 3.2.3 시험체폭의 영향

시험체 폭에 따른 장부력의 변화는 그림 6에 보이는 바와 같이 폭이 10cm에서 30cm까지는 선형으로 증가하나 40cm에서 60cm까지는 증가율이 둔화되는 형태로 나타나고 있다. 장부 파괴시 균열형태로부터 시험체가 최대 장부력을 발휘할 수 있는 시험체의 폭은 피복두께 3cm일 때, 40cm, 6cm일 때 60cm, 9cm일 때 70cm 정도이다.

### 3.2.4 철근크기의 영향

이 연구에서는 D16 및 D22의 두개의 철근만 사용되었으며, 철근의 크기에 따른 장부력은

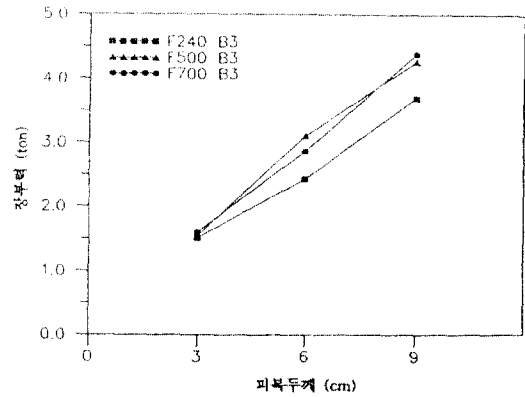


그림 4 피복두께에 따른 비교

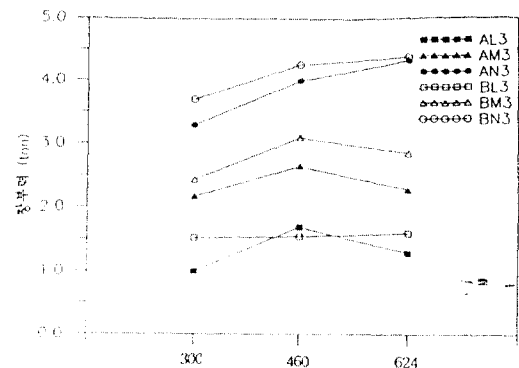


그림 5 콘크리트강도에 따른 비교

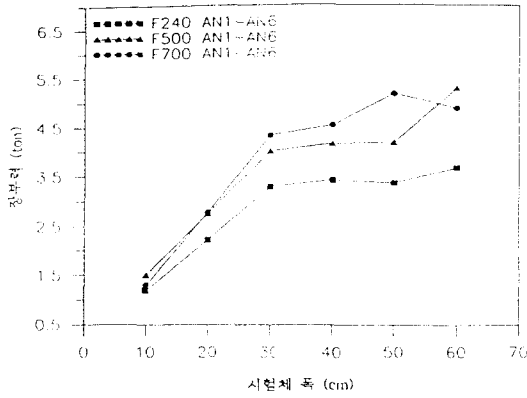


그림 6 시험체폭에 따른 비교

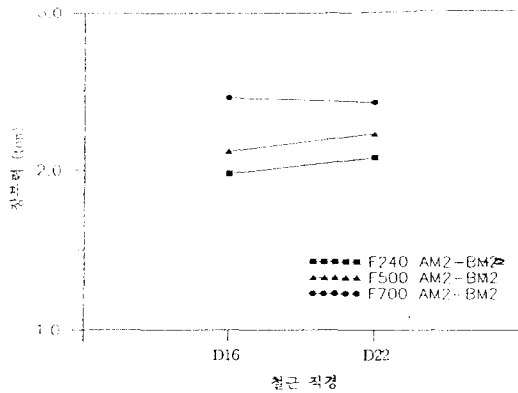


그림 7 철근직경에 따른 비교

피복두께 3cm인 경우 3~37퍼센트, 6cm인 경우 10~25퍼센트, 9cm인 경우 1~22퍼센트의 범위에서 완만하게 증가하는 것으로 측정되었다. 그림 7은 철근 크기에 따른 장부력의 변화 중 한 예를 나타낸 것이다.

### 3.3 회귀분석

이전의 연구에서 실험한 시험체 24개와 이 연구에서 실험한 시험체 84개를 포함한 108개를 회귀분석한 결과 다음과 같은 회귀식을 얻었다.

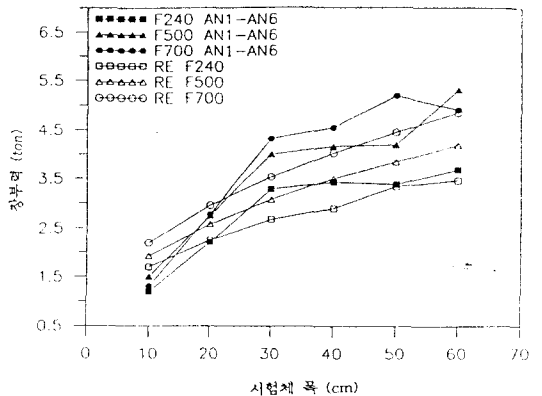
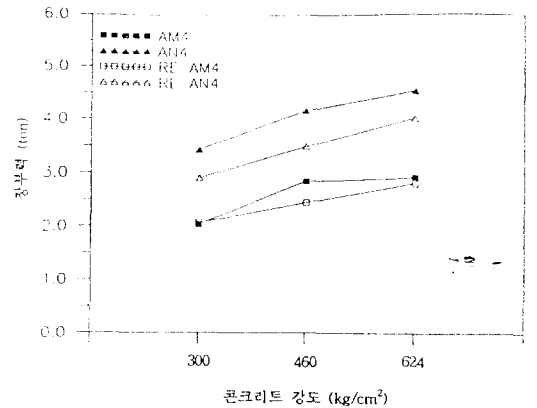
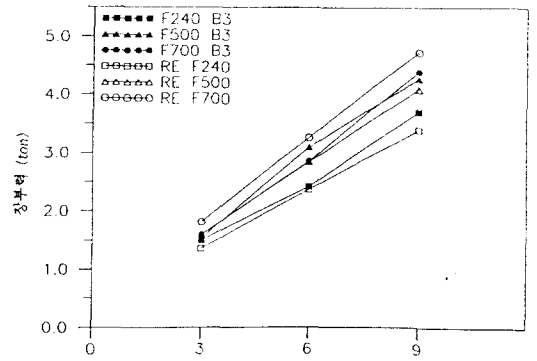
$$D_{cr} = 363.9 + 0.81(c \cdot d \cdot f_t \cdot \sqrt{b}) \quad \dots \dots (1)$$

여기서,  $c$  : 콘크리트의 피복두께 (cm)  
 $d$  : 철근 직경 (cm)  
 $f_t$  : 콘크리트의 인장강도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$b$  : 시험체의 폭  
 $D_{cr}$  : 파괴하중 (kg)

이다.

실험결과와 회귀분석값을 비교한 결과 비교적 실험값에 근접하고있다. 그림 8은 실험결과와 회귀분석값을 비교한 그림이다.



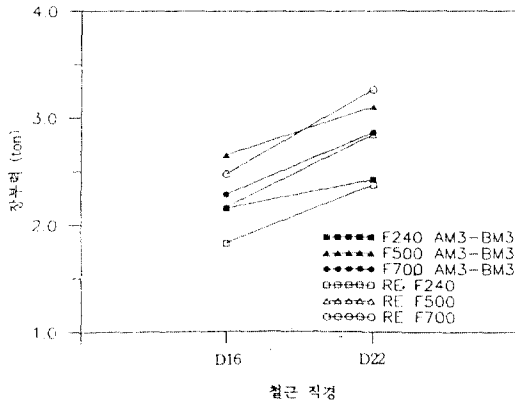


그림 8 실험값과 회귀분석값의 비교

#### 4. 맺음말

이 연구는 철근의 장부작용에 대한 기초적 연구로서 전단보강하지 않은 콘크리트 블록에 한개의 철근을 매립하여 피복두께, 콘크리트 강도, 시험체 폭 및 철근 직경을 주요변수로 하여 실험한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모든 시험체의 초기균열은 정면 철근의 좌측, 우측 및 좌우측 동시에 발생하여, 시험체의 한쪽 폭이 피복두께의 1배 이하인 경우는 거의 수평으로 균열되었고, 그 이상일 때는 철근을 기준하여 수평선에서 윗쪽으로  $130^\circ$  이내의 범위로 진전되었으며, 윗면 및 수직균열은 폭 10cm인 시험체를 제외한 모든 시험체에서 발생하였다.
- (2) 제한된 범위내에서 실험결과 최대 장부력은 피복두께에 거의 선형적으로 비례한다.
- (3) 콘크리트 압축강도가  $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$  에서  $f_c' = 460 \text{ kg/cm}^2$  로 증가되었을 때의 장부력은 거의 선형적으로 증가하였으나,  $f_c' = 460 \text{ kg/cm}^2$  에서  $f_c' = 624 \text{ kg/cm}^2$  로 증가되었을 때는 그 증가율이 낮은 것으로 나타났다.
- (4) 시험체의 폭이 피복두께의 약 3배까지는 장부력이 현저하게 증가하지만, 그 이상으로 폭을 증가시키면 점차 작아지는 것으로 나타났으며, 고강도인 D22철근의 경우는

피복두께의 6 - 7배까지 크게 증가하였다.

- (5) 철근의 장부력에 대한 철근 지름의 영향은 피복두께, 시험체의 폭 및 콘크리트 강도의 영향에 비하여 현저하게 적은 것으로 나타났다.
- (6) 시험체의 정면 파괴형태를 관찰한 결과, 최대 장부력을 유발할 수 있는 시험체의 유효폭은 피복두께가 3cm 일때 40cm, 6cm 일때 60cm, 9cm 일때 70cm 일것으로 예측할 수 있다.
- (7) 실험결과를 제안된 회귀분석값과 비교한 결과, 비교적 실험값에 근접하고 있다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

1. 김상식, "철근콘크리트 구조설계," 문운당, 1993, pp. 68-130.
2. 박송철, 신장호, 김상식, "철근콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구," 한국 콘크리트 학회 학술발표 논문집 제 5권 제 2호, 1993.10, pp. 250-255.
3. 박송철, "철근콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구," 인하대학교 대학원 석사학위 청구 논문, 1994. 2.
4. 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.
5. 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.
6. 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.