

장부철근의 전단저항에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Shear Resistance of Dowel Bars

신장호*

Shin, Jang Ho

요 약

이 연구는 철근콘크리트 부재에서 철근의 장부작용에 대한 구조 변수들의 영향을 고찰하기 위한 실험적 연구로서, 이전의 연구^(3,6)에 이어서 2개의 철근을 매입한 42개의 시험체를 콘크리트의 피복두께, 철근지름 및 철근간격을 주요 변수로 하여 실험하였다.

실험결과로부터 모든 시험체는 피복두께의 증가에 따라 파괴하중에 이르기까지 거의 선형적으로 거동하였고, 철근지름과 철근간격의 증가에 따른 장부력은 거의 영향을 받지 않는 것으로 조사되었으며, 실험값은 제안된 회귀분석값과 White의 제안식값에 비교적 근접하였다.

Abstract

This research is aimed to investigate the influence of the structural parameters on dowel action of reinforcing bars in reinforced concrete members.

Following the previous research,^(3,6) a total of forty two specimens were tested to scrutinize the dowel action of reinforcing bars. Concrete cover, reinforcing bar size and bar distance were taken as main test variables for constant compressive strength of concrete.

From the test results, the structural behavior of all specimens was almost linear up to failure load. It is seen that dowel force increases as concrete cover increases. Reinforcing bar size and bar distance hardly affects dowel force. It is found that the dowel forces obtained by this experimental research is relatively close to that of regression analysis results and White's equation.

Keyword : dowel action, dowel bar, dowel force, concrete cover, reinforcing bar size, bar distance, shear resistance, regression analysis.

* 정회원, 울산전문대학 건축과 교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 1996년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 머리말

전단은 축력 및 휨과 더불어 가장 기본적인 힘의 형태이나, 철근콘크리트 부재에서는 대체로 휨과 함께 작용한다. 전단과 휨의 복합작용에 의한 철근콘크리트 부재의 구조거동에 대하여는 오랜 기간 동안 많은 연구가 진행되어 왔으나, 구조해석과 설계에서 만족할 만한 이론적 근거를 정립하지 못하고 있으며, 대부분의 설계기준에는 실험결과로부터 얻은 경험적 설계식들이 사용되고 있다. 또한 전단파괴는 취성적이기 때문에 휨과 비교하여 더 위험하며, 큰 전단력을 받는 부재의 구조 안전성을 높이기 위하여 전단 보강을 하여 전단저항과 연성을 크게 하여야 한다.⁽¹⁾

철근콘크리트 구조체에서 균열면에 수직으로 배열된 철근은 균열의 폭을 제어하는 기능을 갖고 있다. 이러한 기능은 철근과 콘크리트 사이의 부착력에 의해 발생하는 축력과 철근 주위 콘크리트의 반력 때문에 생기는 횡력, 즉 장부력 때문이다.⁽¹⁾

이와 같은 장부작용은 보-기둥 접합면, 슬래브-보의 연결부, 기둥 상하간 콘크리트 이어치기면, 깊은보와 코오벨 같은 특수부재, 프리캐스트 콘크리트와 콘크리트 포장도로의 이음부분, 수리시나 보강시 등과 같이 휨보다는 전단이 상대적으로 큰 경우에 중요한 하중전달기구로서 고려된다.^(7,8)

본 연구는 철근의 장부작용을 실험적으로 연구하기 위하여 전단보강되지 않은 철근콘크리트 보를 대상으로 콘크리트의 피복두께, 철근지름, 철근간격을 변수로 하여 최대 장부력, 균열발생 및 진전, 파괴형태를 조사하였고, 실험결과를 제안된 회귀식, White 및 Tassios의 제안식과 비교하였으며, 변수에 따른 영향을 고찰하였다.

2. 시험체의 형태 및 실험장치

2.1 시험체의 형태

시험체는 Fig. 1에서와 같이 폭은 30cm, 길이는 40cm로 일정하고 높이는 20cm (피복두께 3cm, 6cm인 시험체) 또는 30cm (피복두께 9cm인 시험

체)인 직육면체이며, 기존의 연구⁽²⁻⁶⁾에서는 1개의 철근을 수평방향으로 배근하였으나, 이 연구에서는 수평방향으로 2개의 철근을 나란히 배근하였다. 실험변수는 피복두께 3종류, 철근지름 5종류, 철근간격 3종류로 하여 구조거동을 조사했으며, 전체 42개의 시험체를 제작하였다.

철근은 SD 40 재질의 KS규격품을 사용하였고, 콘크리트 배합비 및 압축강도는 Table 1과 같으며, 시험체 기호 및 기호내용은 다음과 같다.

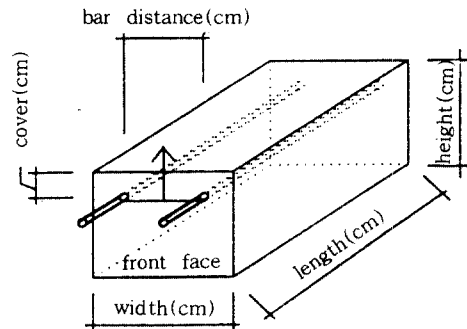
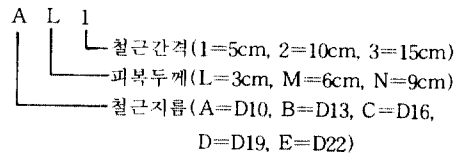


Fig. 1 Test specimen

Table 1 Mix proportion of concrete

W/C (%)	W (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Gravel (kg/m ³)	Compressive strength (kg/m ²)
53	183.5	346	844	892	245

2.2 실험 및 가력장치

Fig. 1의 화살표 방향은 수직상향으로의 인장가력 방향을 나타낸 것이다. 시험체는 Fig. 2에서와 같이 시험체의 밑부분은 시험체에 매입된 볼트로 지지대에 고정시키고, 2개의 철근에 균등하게 상향 인장가력되도록 인장가력장치 상단의 강봉에 2개의 힌지를 설치하였으며, 시험체 정면에 돌출된 철근은 인장가력되는 동안 철근의 휨을 방지하기 위하여 철근 고정장치에 고정하였고, 철근고정장

치의 양단은 헌지로 연결하였다. 특히, 일반적인 보에서는 장부력 측정시 철근에 직접 하중을 가하기 어려운 점을 감안하여, 이 실험에서는 휨모멘트의 발생을 최소화 시키고, 순수 전단력만 작용되도록 하기 위하여 인장가력판을 정면의 콘크리트 수직면과 철근 밑에 밀착시켜서 인장가력이 되도록 장치하였다.

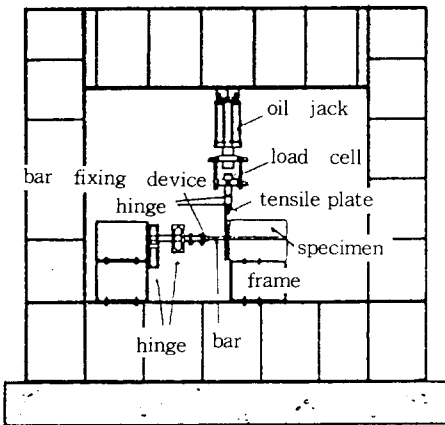
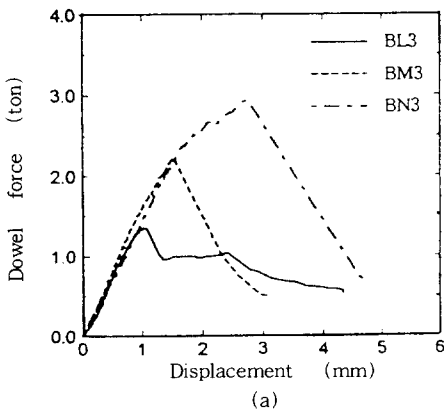


Fig. 2 Test equipment and setup

장부력 측정은 Fig. 2에서 수직상향으로 유압잭에 의하여 인장가력되어 로드셀에 전달되도록 장치하였고, 변위측정은 자동변위계 및 자동변형률 측정기를 사용하였으며, 장부력과 변위는 컴퓨터에 입력되도록 설치하였다.



자동변위계 설치위치는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 자동변위계 1, 2는 시험체가 파괴될 때 까지의 변위를 측정하기 위하여 설치하였고, 자동변위계 3, 4는 시험체의 들림을 측정하기 위하여 설치하였으며, 초기균열하중시와 파괴하중시의 변위와 장부력-변위곡선은 자동 변위계 1, 2의 평균값과 자동변위계 3, 4의 평균값과의 차이를 적용하였다.

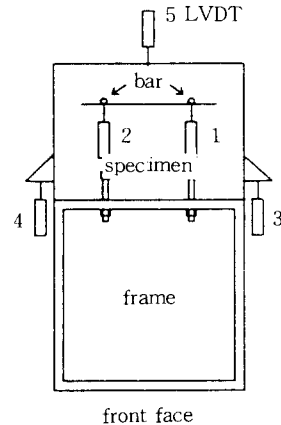


Fig. 3 The setup of LVDT

하중은 철근을 시험체의 직상부 방향 즉, Fig. 1의 화살표 방향으로 하중을 가하였고, 단조하중으로 매회 0.1~0.2톤씩 1~2초 간격으로 파괴하중에 이르기까지 가력하였으며, 파괴이후에도 시험체의 파괴형태를 조사하기 위하여 파괴된 콘크리트가 완전히 분리될 때까지 가력하였다.

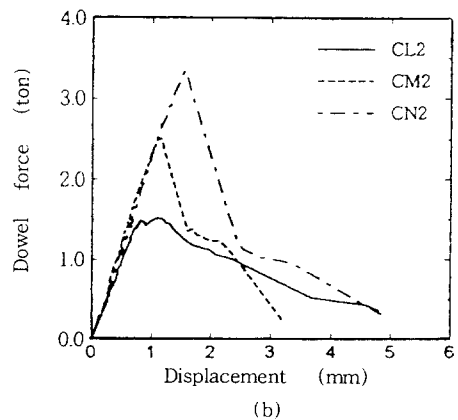


Fig. 4 Dowel force-displacement curve

3. 실험결과 및 고찰

3.1 장부력과 변위

Table 2 The list of test results

Specimen	Initial crack load		Failure load	
	Load (ton)	Disp. (mm)	Load (ton)	Disp. (mm)
AL1	0.70	1.02	0.77	1.24
AM1	1.57	2.32	1.65	2.62
AL2	0.94	0.87	1.01	1.11
AM2	1.69	2.26	2.27	4.71
AL3	1.02	0.95	1.18	1.20
AM3	-	-	2.29	2.99
BL1	0.74	0.94	0.98	1.64
BM1	1.58	1.74	1.73	1.93
BN1	2.87	3.31	2.99	3.71
BL2	0.99	0.74	1.25	1.28
BM2	-	-	2.26	1.78
BN2	-	-	2.87	1.95
BL3	1.10	0.74	1.36	1.02
BM3	2.02	1.33	2.23	1.53
BN3	-	-	2.94	2.75
CL1	0.67	0.30	1.29	1.04
CM1	2.10	1.67	2.72	2.13
CN1	2.77	1.96	3.33	2.45
CL2	1.40	0.72	1.52	1.10
CM2	2.05	1.65	2.51	1.94
CN2	2.57	1.62	3.35	2.05
CL3	1.00	1.28	1.43	1.72
CM3	-	-	2.26	1.03
CN3	2.43	2.36	3.05	2.64
DL1	0.57	0.21	0.94	0.59
DM1	2.50	1.88	2.75	2.08
DN1	2.61	1.71	2.94	1.93
DL2	1.29	0.77	1.63	1.24
DM2	2.32	1.22	2.66	1.41
DN2	1.46	1.02	2.82	1.71
DL3	-	-	1.68	0.80
DM3	2.36	1.39	2.90	1.66
DN3	-	-	3.49	1.65
EL1	1.20	2.52	1.50	3.00
EM1	1.00	1.14	2.69	2.50
EN1	2.60	1.79	2.97	2.34
EL2	0.80	0.66	1.49	1.23
EM2	1.44	1.25	2.47	1.70
EN2	2.14	1.10	2.89	1.38
EL3	1.73	0.90	2.17	1.12
EM3	2.13	1.32	2.70	1.62
EN3	2.81	1.45	3.17	1.71

AM2, AM3, BN3 시험체는 압괴를 동반하면서 철근이 먼저 항복하였으나, 그 이외의 모든 시험체는 Fig.4의 (a), (b)에 나타난 바와 같이 파괴하중에 이르기까지 거의 선형적으로 거동하였고, 파괴이후의 비탄성거동에서 피복두께가 3cm인 모든 시험체는 완만한 곡선을 이루었으나, 피복두께가 6cm, 9cm로 증가할수록 하중이 급격히 저하되는 것으로 나타났다. 시험체의 초기균열하중과 파괴하중 및 변위는 Table 2와 같다.

3.2 균열과 파괴형상

모든 시험체는 정면의 철근을 기준으로 하여 좌측, 우측 또는 철근과 철근사이 및 좌, 우측 동시에 균열이 발생하여 Fig. 5의 (a), (b), (c)와 같이 균열되면서 피복두께가 클수록 약간의 파쇄음과 함께 파괴되었다. 정면의 균열형태는 Fig. 5의 (a), (b)와 같이 측면 피복두께(C_2)가 가력방향의 피복두께(C_1)의 1.5배까지는 수평으로 균열되었고, 1.5배 이상일 때는 정면의 철근을 기준으로 하여 수평선에서 윗쪽으로 약 $10^\circ \sim 30^\circ$ 의 범위로 균열되었으며, 철근과 철근 사이의 균열형태에서 $D \leq 3C_1$ 일 때는 Fig. 5의 (b)와 같이 수평으로 균열되었고, $D > 3C_1$ 일 때는 Fig. 5의 (c)와 같이 철근을 기준으로 하여 수평선에서 윗쪽으로 $10^\circ \sim 30^\circ$ 의 범위로 균열되었다. 이와같은 균열현상으로 부터 Fig. 5의 (c)에서와 같이 피복두께 C_1 이 3cm이고 철근 간격이 10cm이며 D10, D13 철근이 매입된 시험체와 철근간격이 15cm인 모든 시험체는 대부분 완만한 W형태로 균열되었고, 특히 AL2, AL3, BL2 및 BL3 시험체는 완전한 W형태로 균열되었다.

3.3 실험결과의 고찰

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8은 각 변수에 대하여 장부력과 비교한 그림이며, 그 영향은 다음과 같다.

3.3.1 피복두께의 영향

실험결과 AM2, AM3, BN3시험체는 압괴가 크게 발생되면서 철근이 먼저 항복하였고, 그 이외

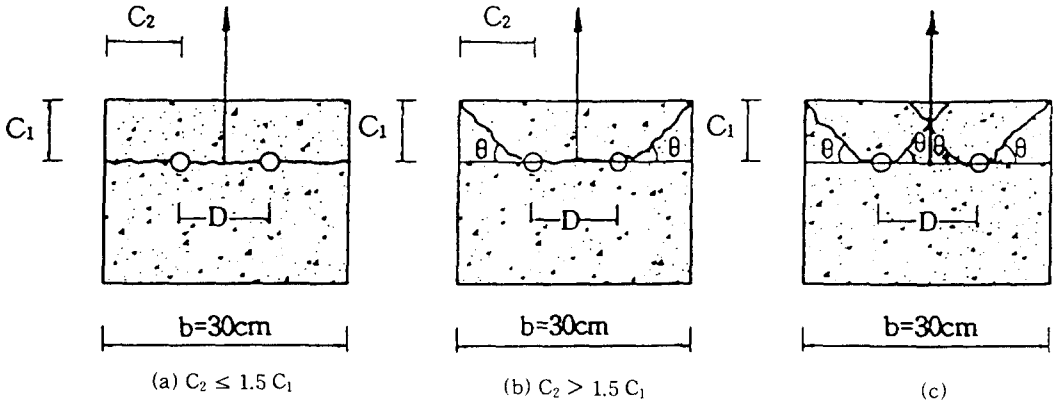


Fig. 5 Crack pattern of specimen

의 모든 시험체는 Fig. 6에서와 같이 피복두께 (C_1)가 3cm, 6cm, 9cm로 증가할 때의 최대 장부력은 철근간격이 5cm, 10cm, 15cm로 증가함에 관계없이 거의 선형적으로 거동하였다. 또한 이전의 연구⁽⁶⁾에서와 같이 콘크리트의 피복두께는 여러변수 중에서 장부력에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3.3.2 철근지름의 영향

철근지름의 증가가 장부력에 미치는 영향은 Fig. 7에서와 같이 피복두께가 3cm일 때 DL1, EM2 시험체는 철근지름이 증가함에 따라 오히려 장부력이 감소하였으나, 그 이외의 모든 시험체는 전반적으로 근소한 증가를 보였고, 피복두께가 6cm, 9cm일 때 철근간격이 5cm이고, D13에서 D16으로 증가되었을 때와 철근간격이 15cm이고 D16에서 D19로 증가되었을 때의 장부력은 큰 증가를 보였으나, 그 이외의 시험체는 일부 감소하거나 근소한 증가를 보였다. 이는 기존의 연구^(4,5,6) 결과와 흡사하며, 일부 시험체가 철근지름이 증가함에 따라 장부력이 감소한 이유는 시험체에 결함이 있거나 또는 가력속도의 완급에 따라 영향이 있을 것으로 사료된다.

3.3.3 철근간격의 영향

Fig. 8에서 보이는 바와 같이 철근간격이 5cm, 10cm, 15cm로 증가함에 따라 피복두께가 3인 경

우의 장부력은 근소한 증가를 보였으나, 피복두께가 6cm, 9cm로 커질수록 장부력은 오히려 감소하거나, 근소한 증가를 보였다. 이는 철근지름의 영향과 거의 흡사하다.

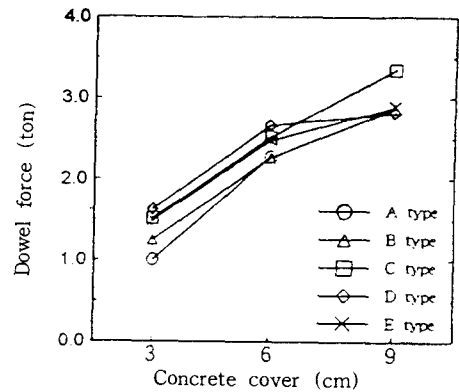


Fig. 6 Comparison of dowel load for concrete cover

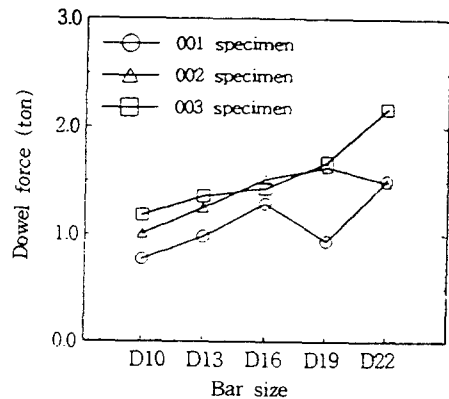


Fig. 7 Comparison of dowel load for reinforcing bar size

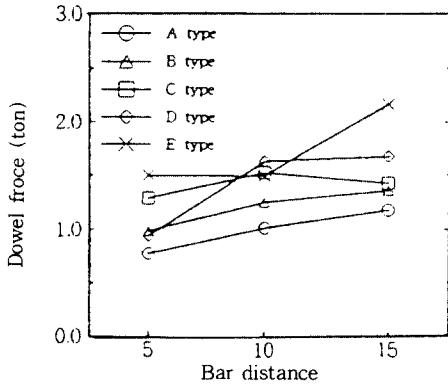


Fig. 8 Comparison of dowel load for bar distance

4. 실험결과와 회귀식과의 비교

회귀분석은 이 연구와 이전의 연구^(3,6)에서의 시험체 90개를 포함하여 132개의 시험체를 대상으로 하였고, 회귀분석 프로그램은 "SPSS/PC+ The Statistical Package for IBM PC"를 적용 하였으며, 각 변수들은 장부력에 복합적으로 영향을 미치기 때문에 곱셈식으로 나타냈다. 분석된 회귀식은 다음과 같다.

$$D_{cr} = 372.3 + 0.84(c \times d \times \sqrt{b \cdot f_c'}) \quad (1)$$

식 (1)에서, b는 시험체의 폭(cm), c는 피복두께(cm), d는 철근지름(cm), f_c' 은 콘크리트의 압축강도이며, D_{cr} 은 파괴하중이다.

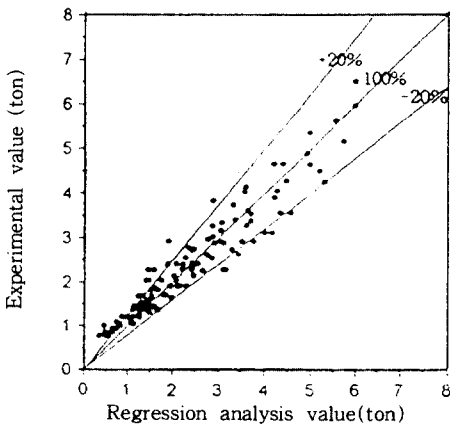


Fig. 9 Comparison of test result and regression analysis value

분석된 결과에서 파괴하중의 변동에 대한 변수들의 설명력을 나타내는 수정된 \bar{R}^2 는 91.5%로 높은 편이고, 모형의 적합도를 나타내는 F값은 1415%로서 전체적으로 유의적임을 알수있다.

Fig. 9은 실험결과와 회귀분석값을 비교한 그림으로 제안된 회귀식에 의한 값은 대부분 산발범위 $\pm 20\%$ 이내에 78%가 포함되어 비교적 실험결과에 근접하고 있다.

5. 실험결과와 White 및 Tassios 제안식과의 비교

장부력을 예측하는 제안식 중에서 이 연구와 변수가 비슷한 White⁽⁷⁾ 및 Tassios⁽⁹⁾의 제안식과 비교하였다.

White의 제안식은 측면과 상하면의 최소 피복두께; C_m , 철근 지름; d_b , 시험체의 유효폭; b_n , 같은 수평층에 배근된 철근의 갯수; n_b 를 주요 변수로 하여 식(2)와 같이 회귀식을 제안 하였고,

$$D_{cr} = b_n \frac{d_b}{n_b} \left(3.25 + 3.79 \left(\frac{C_m}{\frac{b_n}{n_b} + d_b} \right) \right) (N \cdot mm) \quad (2)$$

Tassios는 철근의 항복과 콘크리트의 파괴가 동시에 발생할 때의 장부력 D_u 는

$$D_u = 1.30 d_b^2 \sqrt{f_c' f_y} (N) \quad (3)$$

하중 작용 방향에 수직으로 파괴될 때의 장부력 D_{cr} 은

$$D_{cr} = 2b_{ct} \cdot d_b \cdot f_t (N) \quad (4)$$

하중 작용 방향으로 파괴될 때의 장부력 D_{cr} 은

$$D_{cr} = 5f_t \cdot c \cdot d_b \left(\frac{c}{0.66c + d_b} \right) (N) \quad (5)$$

와 같이 3종류의 식을 제안 하였는데, 이 연구에서는 파괴 형태에 따라 식(4), 식(5)를 적용하였다.

식(3), 식(4), 식(5)에서 d_b 는 철근지름, f_c' 은 콘크리트의 압축강도, f_y 는 철근의 항복강도, b_{ct} 는 시험체의 유효폭, f_t 는 콘크리트의 인장강도, c 는 콘크리트의 피복두께이다.

그림 10은 실험값과 White 및 Tassios 제안식과 비교한 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 산발범위 $\pm 30\%$ 이내에 White의 회귀식에는 88%, Tassios의 제안식에는 76%가 포함되어 Tassios 식 보다는 White식에 더욱 근접하였다.

이는 이 연구의 적용변수와 White의 사용변수가 유사하기 때문인 것으로 판단된다.

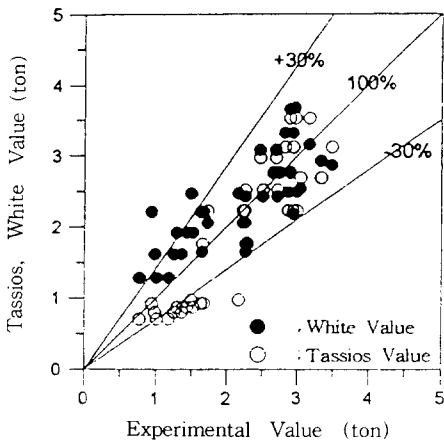


Fig. 10 Comparison of Test Value and Tassios, White Value

6. 맺음말

이 연구는 철근 콘크리트 부재에서 철근의 장부작용에 대한 실험연구로서, 2개의 철근을 콘크리트에 매입한 블록형태로 제작하여 시험체 정면에 돌출한 2개의 철근에 순수전단실험을 하여 구조변수가 장부력에 미치는 영향을 조사하였다. 이 실험에 적용한 변수들은 콘크리트의 피복두께, 철근지름, 철근간격이며, 구조실험으로부터 분석된 결과는 다음과 같다.

(1) 시험체 정면의 균열형태는 측면피복두께 (C_2)가 가력방향의 피복두께(C_1)의 1.5배 보다 클 때에는 거의 수평으로 균열되었고, 측면피복두께가 가력방향의 피복두께의 1.5배 보다 클 때에는

철근을 기준으로 수평선에서 상향 $10^\circ \sim 30^\circ$ 의 경사를 이루면서 균열되었다.

(2) 콘크리트의 피복두께가 증가함에 따라 최대장부력에 이르기까지는 거의 선형적으로 거동하였고, 콘크리트의 피복두께는 장부력에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 철근지름과 철근간격이 증가함에 따른 장부력은 근소한 증가를 보였으며, 이는 장부력 증가에 거의 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.

(3) 이 연구와 이전의 연구^(3,6)결과를 포함한 132개 시험체의 실험결과로부터 콘크리트의 피복두께, 철근지름, 시험체 폭 및 콘크리트의 압축강도를 변수로 하여 회귀분석하였다. 제안된 회귀식은 전체적으로 실험결과에 근접하였다.

(4) 실험결과와 White 및 Tassios 제안식과 비교한 결과 산발범위 $\pm 30\%$ 이내에 각각 88%, 76%가 포함되어 White식에 더욱 근접하였다.

이는 실험방법은 다르지만 이 연구에서 적용한 변수와 White의 사용변수가 유사하기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 1994학년도 울산공업학원 이사장 지원 학술연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드리는 바이다.

참 고 문 헌

1. 김상식, "철근콘크리트 구조설계", 문운당, 1993년 pp.68-130.
2. 성용택, "철근콘크리트 부재의 장부작용에 대한 실험적 연구", 인하대학교 대학원 석사학위 논문, 1993년 2월.
3. 박송철, 신장호, 김상식, "철근콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구(I)", 한국 콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집 제5권 2호(통권 9집), 1993년 11월 pp.250-255.
4. 김성훈, 신장호, 김상식, "철근콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구(II)", 한국 콘크리트 학회 봄 학술발표회 논문집 제6권 1호(통권 10집), 1994년 5월 pp.59-64.
5. 최도수, 신장호, 김상식, "고강도 철근콘크리트 부재에서 철근의 장부작용에 대한 구조변수의 영

- 향”, 한국 콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집 제6권 2호(통권 11집), 1994년 11월 pp.350-355.
6. 신장호, “철근의 장부작용에 대한 구조변수의 영향”, 인하대학교 대학원 박사학위 논문, 1995. 2.
 7. Jimenez, R., White, R. N., and Gergely, P. “Bond and dowel capacities of reinforced concrete”, ACI Journal, Vol.76, No.1, Jan. 1979, pp.73-83.
 8. Vintzeleou, E. N., and Tassios, T. P., “Mathematical model for dowel action under monotonic and cyclic conditions”. Magazine of Concrete Research, Vol.38, No.134, March 1986, pp.13-22.
 9. Vintzeleou, E. N., and Tassios, T. P., “Behavior of dowels under cyclic deformations”, ACI Journal, Vol.84, No.1, Jan.-Feb. 1987, pp. 18-30.
 10. Dei Poli, S., Di Prisco, M., and Gambarova, P. G., “Shear response, deformations, and subgrade stiffness of a dowel bar embedded in concrete”, ACI Journal, Vol.89, No.6, Nov.-Dec. 1992, pp.665-675.
 11. Pruijssers, A. F., “Aggregate Interlock and dowel action under monotonic and cyclic loading”, Report No. PB90-248261, NTIS, Springfield, VA., 1988, pp.22-36.

(접수일자 : 1995. 10. 11)