

철근 콘크리트 부재의 장부작용에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Dowel Action in Reinforced Concrete Members

박 송 철* 신 장 호** 김 상 식***
Park, Song Chul Sin, Jang Ho Kim, Sang Sik

ABSTRACT

This research is aimed at the experimental investigation of the characteristic contribution of the structural parameters, such as concrete cover, concrete strength and reinforcing bar size on the dowel strength of the reinforced concrete structures. A total of twenty four specimens were tested for eight experimental conditions. The test results showed relatively close agreements with the values calculated by Vintzeleou-Tassios equation. From the observations of the test results, it was found that the concrete cover affected almost linearly on the dowel strength, while the bar size and the concrete strength showed coupled effects.

1. 머리말

철근 콘크리트 부재에 있어 철근의 장부작용은 부재간 또는 부재내의 매우 효율 높은 전단력 전달 기구이다. 철근의 장부작용은 철근의 배근 상태와 더불어 피복두께, 철근간격, 철근 크기, 콘크리트 강도, 스티럽 등에 영향을 받으므로 철근의 장부작용에 의한 전단력 전달거동을 규명하기 위하여서는 이러한 변수와 관련하여 많은 실험적인 연구가 요구되고 있다.

이 연구는 철근의 장부작용에 대한 구조거동을 분석하고 여러 변수를 함수로 하는 수학적 모델을 유도하려는 실험 계획의 일환으로, 철근의 피복두께, 콘크리트 강도 및 철근크기를 주요 변수로 하여, 구조실험을 하고 변수에 따른 파괴 형태나 전단내력을 고찰하였다.

2. 시험체의 형태 및 실험장치

2.1 시험체의 형태

시험체는 사진 1과 사진 2에 보이는 바와 같

이 가로 300mm, 세로 400mm, 높이 200mm의 직육면체에 철근이 일정한 피복두께로 묻혀진 형태로 되어 있다. 구조실험에서는 콘크리트의 피복두께, 철근 크기 및 콘크리트의 압축강도를 각각 2종류로 하여 8개의 서로 다른 변수에 대하여 장부작용에 의한 구조거동이 조사되었으며, 한 조건에 대하여 3개의 시험체가 사용되어 전체로 24개의 시험체가 제작되었다.

시험체의 크기와 실험변수는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 피복두께 : 3cm, 6cm,
- 2) 철근 크기 : D16, D22
- 3) 콘크리트 압축강도 : 296 kg/cm², 472 kg/cm²

실험용 철근으로는 SD30 재질의 KS규격품이 사용되었고, 콘크리트 배합 및 압축강도의 평균치는 표 1과 같다. 고강도 콘크리트의 배합에서는 감수제로 MIT 150이 시멘트에 대하여 0.4% 중량비로 사용되었다.

표 1. 시험체의 콘크리트 배합비 및 압축강도

2.2 시험장치

시험체는 사진 1에 보이는 바와 같이 가력대에 설치되어 시험체에 매립된 볼트에 의하여

* 인하대학교 건축공학과 석사과정

** 정희원, 인하대학교 건축공학과 박사과정

*** 정희원, 인하대학교 건축공학과 교수, 공박

표 1. 시험체의 콘크리트 배합비 및 압축강도

구분	물·시멘트비 (%)	중량비 (kg/m ³)				압축강도 (kg/cm ²)
		물	시멘트	모래	자갈	
보통강도	51.1	183	358	793	977	296
고강도	35.0	180	515	686	1028	472

표 2. 시험체의 장부력과 변위

시험체	초기균열 하중		파괴 하중	
	하중 (ton)	변위 (mm)	하중 (ton)	변위 (mm)
AN30	1.05	1.17	1.15	1.43
AN60	1.69	1.63	2.10	2.27
BN30	1.08	1.00	1.23	1.43
BN60	1.82	1.47	2.18	1.93
AH30	1.19	1.26	1.53	1.83
AH60	2.76	2.00	2.89	3.42
BH30	1.49	1.53	1.82	1.93
BH60	2.90	2.19	3.44	2.64

고정된다. 장부력이 가려지는 동안 철근의 휨을 방지하기 위하여 수평방향으로 뺀 철근의 단부는 철근 고정장치에 긴결되며, 철근 고정장치는 양단이 힌지인 강봉에 연결되어 있다. 철근에 닿는 장부 가력장치의 단부두께는 편심을 줄이기 위하여 5mm로 되어 있다. 장부력은 유압잭에 의하여 가려되어 로드셀에 의하여 전달되며, 변위측정 및 자료정리에는 자동변위계와 자동변형을 측정기 및 자료 축적장치가 사용되었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 균열과 파괴형태

거의 모든 시험체에서 초기 균열은 정면의

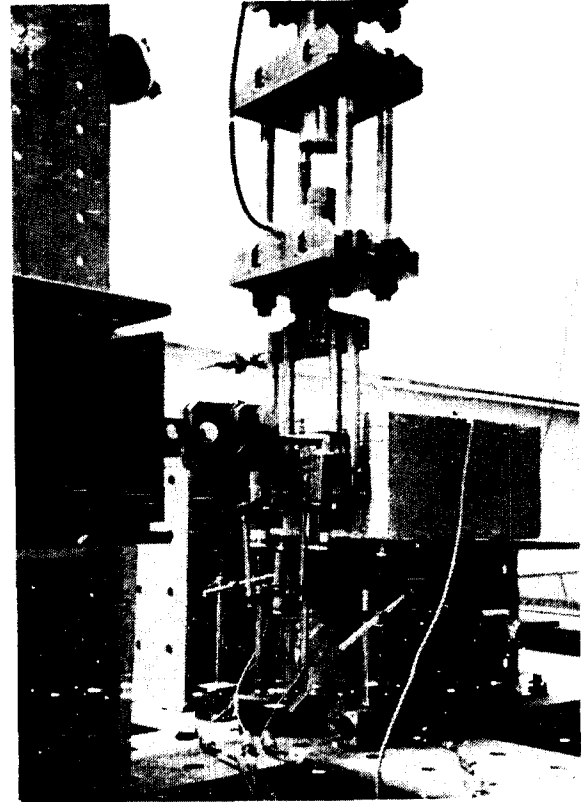


사진 1. 시험체의 가력 및 측정장치

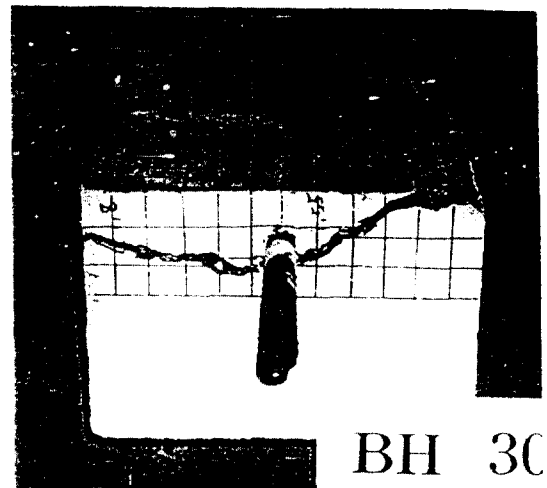


사진 2. 시험체의 파괴양상

철근상단 콘크리트 끝면과 윗면에서 발생되다가 하중의 증가에 따라 철근의 위치에서 가로선을 기준하여 철근의 양옆 방향으로 10°-30°로 전파되었고, 피복두께가 클 수록 완만하거나 거의 수평으로 전파되었으며, 이어서 시험

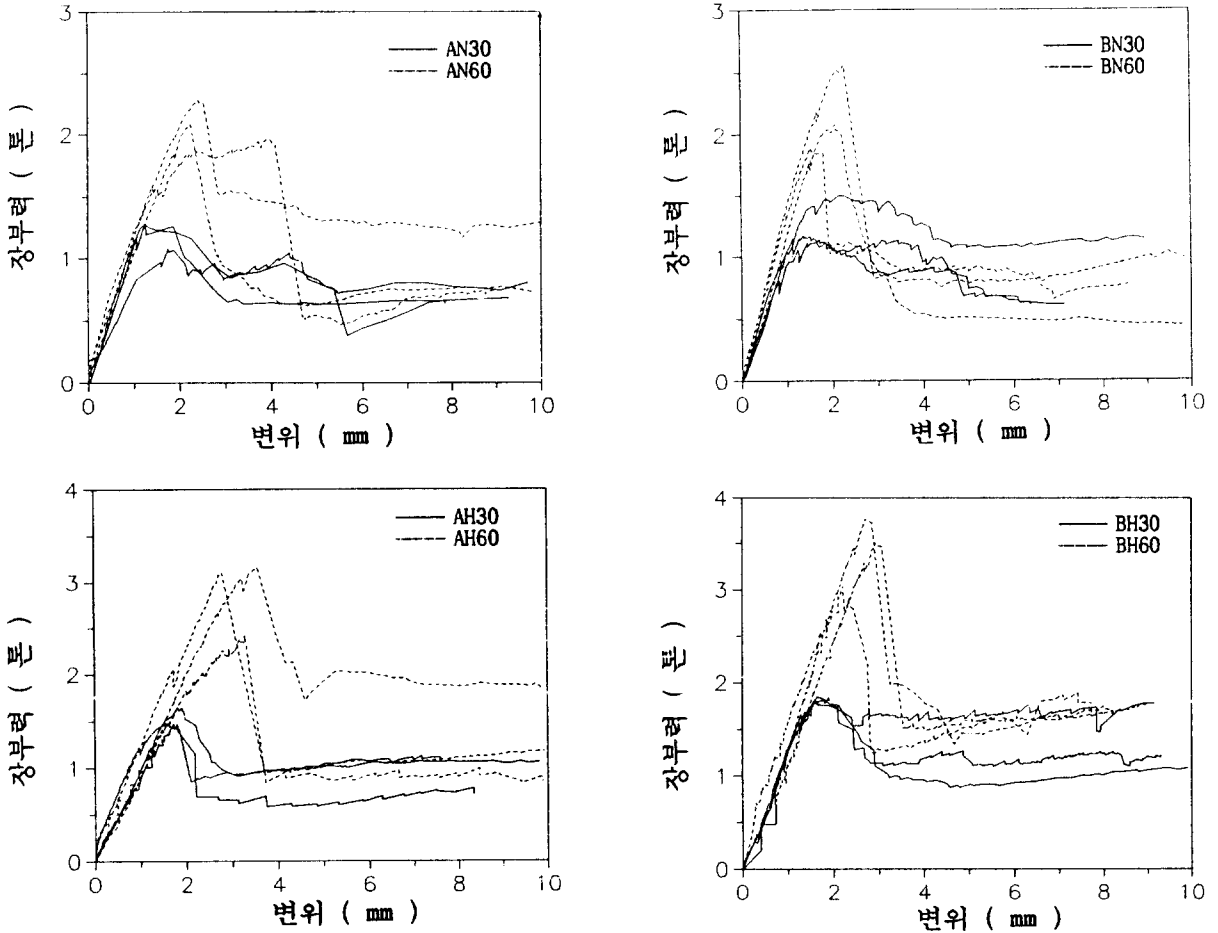


그림 1. 시험체의 장부력-변위 곡선

체의 양 옆면에서 윗면으로 전파되면서 파괴되었다. 윗면의 균열 형상은 피복두께가 30mm인 경우는 대체로 반원형상으로 나타났으며, 피복두께 60mm인 경우는 가로방향으로 거의 직선에 가까운 형상을 이루었다.

균열의 형태는 사진 2에 나타난 바와 같다.

3.2 장부력과 변위

동일한 실험조건에서 전술한 바와 같이 3개의 시험체에 대한 구조실험이 수행되었으며, 장부력과 콘크리트면에서의 철근의 장부변위는 그림 1에 보이는 바와 같이, 약간의 산포도가 있으나, 세 시험체 모두 초기균열이 생긴 후 연이어 취성파괴를 일으키는 양상을 나타내고 있다. 실험조건에 따른 세 시험체의 초기균열

하중과 파괴하중 및 변위의 평균값은 표 2와 같다.

시험체의 표시에서 첫자는 철근크기의 표시로서 A는 D16 철근, B는 D22 철근을 나타내며, 두번째는 콘크리트의 압축강도로서 N은 $f'_c = 296 \text{ kg/cm}^2$, H는 $f'_c = 472 \text{ kg/cm}^2$ 를 말하며, 그 다음의 숫자는 피복두께를 mm 단위로 표시한 것이다.

3.3 이론식과의 비교

철근 콘크리트구조에서 철근의 장부작용에 대한 이론적인 해석은 두가지로 구분된다.

철근의 피복두께가 철근지름의 6배 이상되는 경우에는 장부력이 작용시 철근을 둘러싼 콘크리트의 압괴와 철근의 항복에 의하여 파괴가

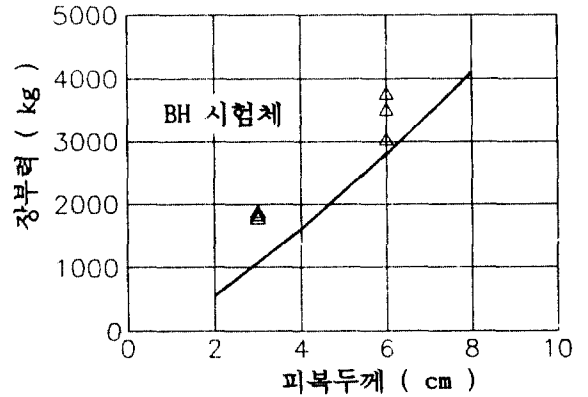
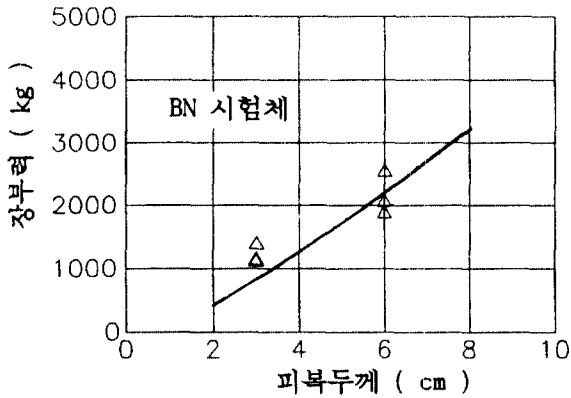
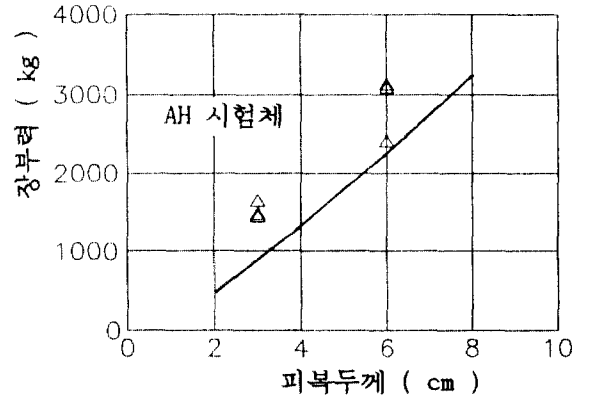
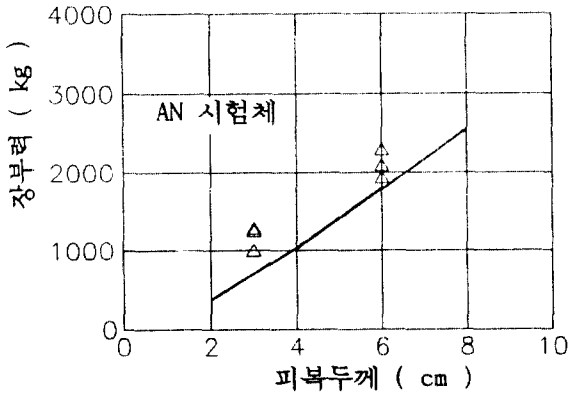


그림 2. 이론식과 실험 결과의 비교

생기며, 이에 대한 이론식은 탄성지반에서 보의 거동과 유사하게 유도되고 있다. 그러나 피복두께가 이보다 작은 경우에는 피복 콘크리트의 할열(剝離)에 의하여 파괴되며, 이에 대한 이론식으로는 Vintzeleou와 Tassios⁽⁴⁾의 제안식이 널리 통용되고 있다. 이 제안식에 의하면 콘크리트의 할열을 일으키는 철근의 장부력은

$$D_{\alpha} = \frac{5.0 f_{\alpha} c^2 d_b}{0.66 c + d_b} \quad (1)$$

으로 계산된다. 여기에서 f_{α} 는 콘크리트의 인장강도, c 는 피복두께, d_b 는 철근의 지름으로, N/mm^2 및 mm 의 단위이나 kg/cm^2 및 cm 단위를 그대로 적용할 수 있다. 실험 결과와 비교하기 위하여 식 (1)의 f_{α} 는 강도설계법 규준에 따라

$$f_{\alpha} = 2.0 \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

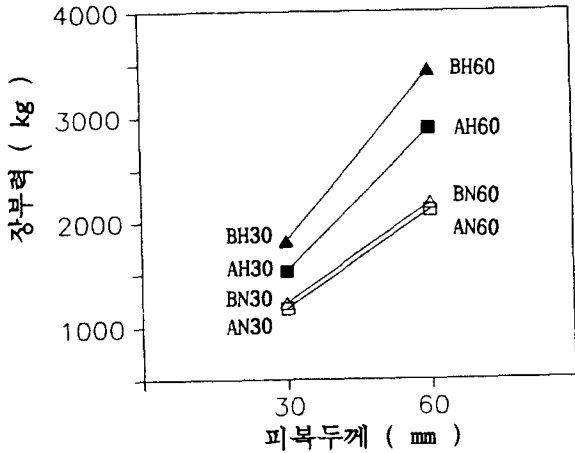
로 하였다. 그림 2는 철근 크기와 콘크리트 압축강도에 따라 장부력을 피복두께의 함수로 나타내고 이론식과 실험 결과를 비교한 것으로, Vintzeleou와 Tassios의 제안식에 비하여 실험 결과가 더 큰 값을 보이고 있다.

3.4 실험 결과의 고찰

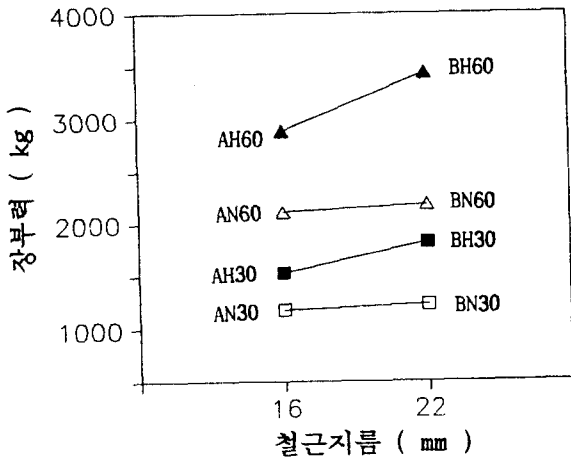
그림 3은 표 2의 시험체 장부력을 시험조건에 따라 비교하기 쉽게 나타낸 것이다. 실험 결과를 장부작용의 주요 변수인 피복두께, 철근 크기 및 콘크리트의 압축강도를 중심으로 검토한 결과는 다음과 같다.

3.4.1 피복두께의 영향

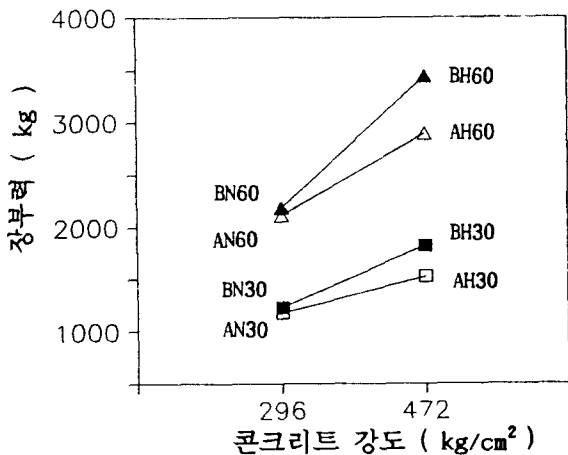
시험체의 철근 피복두께는 30mm와 60mm의 두 종류로 2배의 차이를 두고 있다. 피복두께에 따른 장부력의 차이는 AN 시험체에서 1.83배,



(a) 피복두께에 따른 비교



(b) 철근 크기에 따른 비교



(c) 콘크리트 강도에 따른 비교

그림 3. 시험체 장부력의 비교

BN 시험체 1.77배, AH 시험체 1.89배, BH 시험체 1.89배 등으로, 콘크리트의 강도에 관계없이 철근의 피복두께에 거의 선형 비례하는 것으로 나타났다.

3.4.2 철근지름의 영향

시험체에 묻힌 철근은 D16과 D22의 두 종류로, 지름에 있어서는 D22 철근이 D16 철근보다 37.5퍼센트 더 크다. 철근의 지름에 따른 강도의 비교에서, 보통강도의 콘크리트에서는 BN30이 AN30에 비하여 7 퍼센트, BN60이 AN60에 비하여 4 퍼센트로 철근 지름의 증가에 크게 영향을 받고 있지 않으나, 고강도 콘크리트 시험체에서는 BH30이 AH30에 비하여 19 퍼센트, BH60이 AH60에 비하여 19 퍼센트로 보통강도에 비하여 크게 증가함을 보이고 있지만, 철근 지름의 증가에는 못 미치고 있다. 그림 3에서 AN, BN 시험체와 AH, BH 시험체는 서로 비슷한 기울기로 증가하고 있어, 장부력에 대한 철근 지름의 영향은 Vintzeleou와 Tassios의 제안식에서의 철근 지름과 피복두께의 복합작용보다 콘크리트의 압축강도 또는 그에 따른 인장강도에 더 관련을 가지는 것으로 고찰되고 있다.

3.4.3 콘크리트 강도의 영향

철근의 장부작용에 의한 콘크리트의 할열파괴는 콘크리트의 인장강도와 관련을 가지며, 콘크리트의 인장강도는 일반적으로 압축강도의 제곱근에 비례하는 것으로 알려졌다. 시험에서 보통 콘크리트 시험체와 고강도 콘크리트 시험체의 인장강도는 1:1.26의 비를 보인다. 콘크리트의 강도에 대한 시험체의 장부력은 D16 철근을 사용한 A 시리즈에서 AH30이 AN30의 1.33배, AH60이 AN60의 1.39배로 인장강도비 1.26에 비교적 가까운 증가를 보이고 있으나, D22 철근을 사용한 B 시리즈에서는 BH30이 BN30의 1.48배, BH60이 BN60의 1.58배로 인장강도비 1.26에 비하여 큰 증가를 나타내고 있다. 이러한 장부력의 변화는 앞에서 고찰한 바와 같이 콘크리트의 인장강도와 철근 크기의 복합작용에 기인하는 것으로 추측된다.

4. 맺음말

이 실험 연구는 철근 콘크리트부재에서 철근 장부작용에 대한 기초 연구로, 스티럽 보강이 되어 있지 않은 상태에서 장부력에 크게 영향을 미치는 철근 피복두께, 철근 크기 및 콘크리트 압축강도 등을 변수로 실험하여 결과를 분석 검토한 것이다. 제한된 범위의 시험 결과로부터 다음과 같은 현상이 관찰되었다.

- (1) 철근의 피복두께는 철근의 장부작용에 의한 콘크리트의 할열강도에 거의 선형으로 영향을 끼치고 있으나, 철근의 크기나 콘크리트의 강도와는 복합되어 있지 않다.
- (2) 철근의 장부력에 대한 철근지름의 영향은 콘크리트의 압축강도와 관련을 가지고 있어, 고강도 시험체에서 D16 철근의 장부력은 보통강도 시험체에 비하여 4 - 7 퍼센트의 저조한 증가를 보이나, 같은 상태에서 D22 철근의 장부력은 19 퍼센트로 현저한 증가를 나타내고 있다. 이러한 현상은 철근의 지름 또는 단면적과 콘크리트의 할열강도 또는 지압강도의 복합작용에 기인하는 것으로 추측된다.
- (3) Vintzeleou와 Tassios의 제안식은 위 두항의 고찰 결과와는 다른 형태로 되어 있으나, 피복두께, 인장강도 및 철근지름을 변수로 포함하여 철근 장부력의 예측에 유용한 것으로 증명되고 있으며, 실험결과와 비교적 가깝게 일치하고 있다.

감사의 글

이 연구는 인하대학교 지원 연구비에 의하여 수행된 것으로, 학교 당국의 지원에 감사를 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. Dei Poli, S., Di Prisco, M., and Gambarova, P.G., " Cover and Stirrup Effects on the Shear Response of Dowel Bar Embedded in Concrete, " ACI Str. J., V. 90, No. 4, July-Aug. 1993, pp. 441-450.
3. Jimenez, R., White, R.N., and Gergely, P., " Bond and Dowel Capacities of Reinforced Concrete," ACI J., V. 76, No. 1, Jan. 1979, pp. 73-92.
4. Vintzeleou, E. N., and Tassios, T. P., " Mathematical Models for Dowel Action under Monotonic and Cyclic Conditions," Mag. Concr. Res., V. 38, No. 134, Mar. 1986, pp. 13-22.
5. 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.