

# 도막재료에 따른 철근의 부착성능에 관한 실험적 고찰

김영진\*

## Experimental Study of Bond Properties Using Coated Bars

Kim, Young-Jin

**Key Words:** Coated Bars, Bond Properties, Polyethylene, Epoxy

### Abstract

Coated bars are protecting reinforcing bars from corrosion and enhancing durabilities of reinforced concrete structures are tested to evaluate corrosion protection properties. Tests are performed based on the relevant standards of ACI and ASTM, such as chemical resistance, salt water spray, salt crack test and chloride permeability test with the main variable of the coating thickness. Three type materials are tested by Polyethylene, epoxy and bare bar. Test results show good chemical protection property and chloride permeability. Polyethylene coated bar is good coating material than any other materials.

#### 기호설명

$u$  : 부착응력,

$\Delta f_s$  : 단위 길이당 철근 응력 변화

$\Sigma_0$  : 철근의 주장

$l_d$  : 매입 길이

$v_a$  : 전단응력

$f_c$  : 지압응력

#### 1. 서론

다양한 환경에 노출된 철근은 부식으로부터 완전히 자유로워 질 수가 없다. 이러한 이유로 인하여 철근의 표면을 완전 도막처리하여 염해와 같은 외부의 부식 조건으로부터 자유롭고 근본적으로 열화조건을 방지하고자 하는 노력

들이 이루어지고 있는 실정이다. 그 대표적인 것이 에폭시재료의 사용을 들 수 있으며, 현재 많이 사용되고 있는 재료지만 부착강도의 저하로 인하여 철근의 정착길이의 증가, 접이음길이에 대한 고려 등과 같은 개선해 나가야 할 문제들이 대두되고 있는 실정이다. 또한 철근 표면과 에폭시재료의 접착성능은 개선되었지만 도막면과 콘크리트 표면의 부착성능의 저하는 여전히 해결해나가야 할 과제인 것이다. 이러한 도막면과 콘크리트의 부착성능을 개선하고, 새로운 도막재료의 개발을 통한 부식을 차단해 보고자 폴리에틸렌재료를 사용한 무도막철근과의 비교실험을 통하여 부착성능을 검증해 보고자 하였다. 부착강도 실험은 철근과 콘크리트와의 부착효과를 조사하기 위한 것으로, 철근의 도막조건을 바꾸어 가면서 하중변화에 따른 부착과괴 형태와 변위조건에 따른 균열형상을

\*정회원 · 한국토지공사 연구개발처 주임연구원 · 공학박사 · E-mail : yjkim@iklc.co.kr

살펴보고자 인발실험을 수행하였으며, 이를 통하여 철근의 지름이나 표면상태가 미치는 영향들을 검증해 보고자 하였다.

철근콘크리트구조물에서 부착파괴가 발생하는 요인으로는 철근과 콘크리트 접촉면의 접촉 효과에 있다고 생각되는 경우와, 부착에 의해 콘크리트에 전해진 응력에 의해 철근 주변의 콘크리트가 파괴된다고 생각되는 경우가 있는데, 표면의 상태가 부드러운 환봉의 경우 부착 파괴는 철근과 콘크리트의 접촉상태에만 의존하게 되는 전자에 가깝고, 이형철근의 경우에는 접촉성능보다는 마디와 같은 돌기에 의해서 전달되는 후자에 속하는 파괴를 하는 것이 일반적인 견해이다. 이형철근을 콘크리트 중에서 뽑아보면 표면의 마디가 콘크리트를 밀어 누르게 되고, 이 눌러서 미는 작용에 의해 콘크리트가 할열파괴된다. 나선모양과 같은 보강철근의 배치간격을 좁힐수록 콘크리트가 할열되어도 부착파괴에 이르지 않고, 부착강도는 증대한다.

구조물에 있어서 부착응력상태에 영향을 주는 요인들에는 콘크리트 품질과 재료적성질에 관한 것 이외에도, 역학적거동 메카니즘이라고 할 수 있는 부착거동과 관련된 각종의 요인들, 예를 들어 철근의 배치간격, 콘크리트의 피복두께, 보강철근의 형상이나 철근량, 주근의 배치방향, 부재단면력의 조합(휨모멘트, 전단력, 축력의 상호작용), 재하방법(반복재하인가 단순재하인가)등과 같이 그 영향은 복잡하다고 알려져 있다. 1)

## 2. 부착성능에 대한 고찰

1990년대 초부터 이형철근과 콘크리트가 어떠한 부착기구를 통하여 구조재료로서 성능을 발휘하게 되는지에 대한 연구가 시작되면서 재료의 성능 개선 못지않게 그 거동에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다. 철근콘크리트가 외부하중의 작용에 대해 소요의 성능을 가진 구조재료로 사용되기 위해서는 철근과 콘크리트 각각의 강도가 충분해야 함은 물론 이들간의 부착강도 역시 적정선이 확보되어야 하며, 또 인장측 콘크리트에 많은 균열이 발생한 상

태에서도 철근은 콘크리트와 어느 정도 일체식 거동이 되어야 한다. 부착거동은 특히 콘크리트 내부에서의 문제이기 때문에 그 양상의 관찰과 측정이 어렵다는 단점을 들 수 있다. 근래 들어 주목받기 시작한 콘크리트 경화후의 거동과 철근의 부식 역시 부착성능 저하의 요인으로 지적되고 있다. 본 고에서는 철근을 피복하여 외부요인에 대처해 나갈 수 있는 직접방식개념을 도입하였으며, 이러한 방식개념을 폴리에틸렌이라는 재료를 사용하여 기존의 에폭시도막철근과 무도막철근과의 비교실험을 통하여 그 부착성능을 검증하고자 한다.

### 2.1 부착 효과

철근 콘크리트 부재에 있어 부착면의 특성은 콘크리트 단면에서 발생하는 균열의 폭, 균열의 간격, 인장증강(tension-stiffening)현상, 부착면의 상태, 부재의 강도 등에 의해 좌우되며 이는 부착응력으로 귀결된다. 부착응력은 콘크리트구조물에서 균열이 발생한 후에 철근 응력의 재분배에 따른 철근 변형도의 변화에 따라 달라지며, 배근된 철근 응력의 변화비로부터 측정된다. 따라서 두 단면간 철근 응력의 변화 없이는 부착응력도 존재하지 않는다고 할 수 있다. 이러한 부착응력은 두 재료의 부착면을 따라 작용하는 전단응력으로 정의될 수 있으며, 이와 같은 물리적 거동 외에 콘크리트와 철근의 화학적 접착력, 마찰, 또 이형철근의 경우 철근 마디 사이의 맞물림 작용도 부착의 기구로 생각할 수 있다.

다음 그림 2-1 은 인장을 받는 부재의 앵커 부분에 있어 철근이 받는 응력상태를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 AB, BC 구간 공히 철근은 한 방향으로 힘을 받게

된다. 여기서,  $T = \frac{\pi d_b^2}{4} f_s$  를 나타낸다.

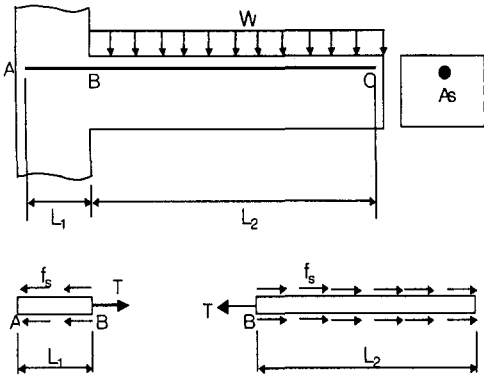


그림 2-1 인장부재 앵커부위의 철근응력상태

이와 같이 부착응력을 두 단면간 철근의 힘 변화의 비로 본다면 식 2-1과 같이 나타낼 수 있다.

$$u = \frac{q}{\sum_0} = \frac{\Delta f_s A_s}{\sum_0} = \frac{d_b}{4} \Delta f_s$$

2-1

여기서  $u$ 는 부착응력,  $\Delta f_s$ 는 단위 길이당 철근 응력 변화를 나타내며  $\sum_0$ 는 철근의 주장은이다.

이와 같이 부착거동을 단순화 할 경우 철근의 직경이 클수록, 철근 강도가 클수록 부착응력은 증가한다고 볼 수 있으나, 그 관계는 여러 요인에 의해 선형적이지 못한 것으로 알려져 있으며, 직경이 큰 고장력 철근의 적용은 또 다른 문제를 유발하는 것으로 보고되고 있다. 일단 부착응력을 위와 같이 정의하면 철근 콘크리트 부재의 부착은 앵커부분에서 국부 부착응력과 철근 부착응력의 두 항목으로 나누어 생각할 수 있다. 아래 그림 2-2는 인장철근의 부착응력 개념을 보인 것이다. 여기서 평균 부착응력이 전장에 걸쳐 균일하게 분포한다면 힘의 평형조건은 식 2-2와 같이 구성할 수 있다.

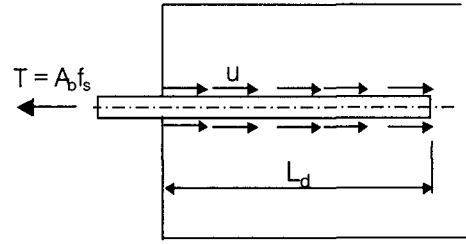


그림 2-2 인장부재에 있어서의 부착응력

$$T = A_b f_s = u \sum_0 l_d$$

$$l_d = \frac{d_b}{4u} f_s$$

.....식2-2

여기서,  $l_d$ 는 매입 길이를 나타내며 몇몇 규정은 이에 대한 안전계수를 제시하고 있다. 앞서 언급한 바와 같이, 부착의 요소로는 이와 같은 물리적 거동 외에도 여러 가지가 있으나 화학적 접촉력 등은 상당히 미약한 것으로 알려져 있다. 이를 입증하기 위해서 리브가 없는 원형 철근 시편을 사용하여 실험한 결과 대단히 낮은 응력상태에서도 슬립(slip)이 유발되는 것이 관찰되었고, 일단 슬립(slip)이 발생하면 부착은 단지 철근과 주변 콘크리트간의 부스러진 모래입자의 마찰과 맞물림에서만 의존하게 됨을 보이고 있다. 또 이 경우의 마찰은 순전히 철근의 표면 상태에 의해 좌우된다. 이와는 달리 이형 철근의 경우는 리브의 맞물림 효과 때문에 내력이 급증하게 되고 그 기구는 다음 그림 2-3과 같이 설명될 수 있다.

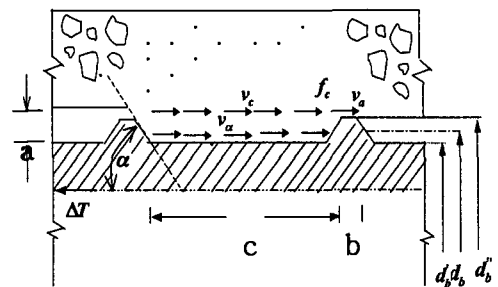


그림 2-3 이형철근에 있어 리브의 맞물림 효과

여기서, 전단응력  $v_a$ 는 철근 표면과의 접촉을 통해 강도가 발현되는 것이고, 지압 응력  $f_c$ 는 리브의 내력면에 대해 발현되는 것으로 가정한다. 다음으로 전단응력  $v_c$ 는 리브 주위를 원통형(cylindrical)으로 감싸는 콘크리트 표면에 작용하는 것으로 가정한다. 이상과 같이 가정하면 철근 종면적에 대한 응력의 총화를 주변 콘크리트의 응력으로 나타낼 수 있으며 이는 식 2-3과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta T = \pi d_b'(b+c) v_a + \pi \frac{d_b'^2 - d_b^2}{4} f_c = \pi d_b c v_c \dots\dots\dots \text{식2-3}$$

앞 서 언급한 바와 같이 화학적 접착력은 상대적으로 미소하며 이는 하중 증가시 더욱 그러하다. 다시 말해서 하중 증가시 잔여 마찰 전단강도는 리브 주위의 지압강도에 비해 상대적으로 대단히 미소해진다. 따라서 이는 실용적인 해석상 무시할 수 있으며,  $f_c$  와  $v_c$ 만 고려하여도 무리가 없다. 여기서 해석 편의상 제기되는 것이 개개 리브의 너비와 리브간의 간격의 비인데 리브의 너비가 리브 간격의 1/10 내외인 경우 리브의 간격은 대략  $c$ 로 들 수 있다. 다음으로 리브의 높이와 철근 직경의 관계를 단순화하면 리브의 높이가 리브 높이를 포함한 철근 직경의 0.05배 정도일 때 개개 리브의 지압면은 식 2-4와 같이 표시할 수 있다.

$$\pi \frac{d_b'^2 - d_b^2}{4} = \pi d_b a \dots\dots\dots \text{식2-4}$$

따라서 식2-3은 다음과 같이 식 2-5로 표현할 수 있다.

$$\Delta T = \pi d_b a f_c = \pi d_b c v_c \rightarrow v_c = \frac{a}{c} f_c \dots\dots \text{식2-5}$$

Rehm은 부착 거동의 제 문제를  $\frac{a}{c}$  라는 geometrical parameter로 설명하였는데, 이에 따르면  $\frac{a}{c}$  가 0.065에 가까울수록 리브간 간격이

상대적으로 짧은 철근의 거동을 나타낸다고 보고하고 있다. ASTM A 305 규정은 이러한  $\frac{a}{c}$  가 다음 범위에 들것을 권장하고 있다.

$$0.057 < \frac{a}{c} < 0.072 \quad : (\text{ASTM A 305})$$

이상으로부터 알 수 있는 바와 같이 리브가 높고 그 간격이 조밀할 경우 부착거동은  $v_c$  가 지배하게 되고 이것이 한계를 넘을 경우 철근은 인발(引拔: pull out)하게 된다. 리브의 간격이 리브높이의 10배보다 크게 되면 리브 앞의 맞물림 작용에 의해 부분적인 파쇄가 발생하게 되고 이는 주위 콘크리트의 할렬과괴로 귀결되는데, 이때 리브 앞의 콘크리트는 주위의 콘크리트가 구속의 효과를 주기 때문에 통상적인 압축강도 시험에 의한 결과에서보다 더 큰 강도를 발휘하게 된다. 이러한 상태를 넘어 더욱 하중이 증가될 경우 철근은 콘크리트로부터 뿔쳐 나오게 되며 이것은 곧 부착거동의 가장 중요한 측면이라 할 수 있는 균열 진전 (crack development)으로 직접 연결된다. 다시 말해서 발생하는 '슬립이 작을수록' 그 부재의 부착거동은 '양호' 하다는 것이다.

### 3. 도막종류별 부착실험 방법

단일 부착실험에서 설계상의 자료가 될 수 있는 데이터를 직접 얻는 방법은 적절한 실험법과 자료구축이 수반된다. 표준적인 실험법은 조건을 특히 단순화하여, 재료특성의 일면 만을 평가하도록 한정한다. 그러기에 철근의 부착실험법으로는, 다양한 방법들이 사용되고 있으며, 본 고에서는 그림 3-1과 같이 캔틸레버형 부착실험방법을 사용하여 실험체를 만들어 도막철근의 균열양상이 발생하는지와 보강철근을 배치하여 그 거동을 살펴보고자 하였다.

#### 3.1 부착실험 방법

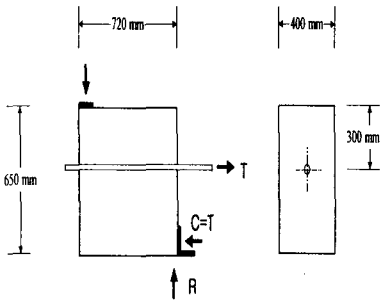


그림 3-1 캔틸레버형 부착 실험법

부착강도 산정 방법과 하중 산정은 철근의 직경이 다른 상황에서 실험적 근거로 제시했던 ACI 기준에 의거하여 부착강도 실험을 하였다. 2) 도막상태에서의 균열간격과 양상을 지켜보고자 캔틸레버형으로된 부착실험법을 선정하였으며, 순수한 부착응력에 대한 효과를 검증하고자 쪼개짐파괴 없이 부착파괴가 이루어지기 위하여 적절한 피복두께가 최소한 2db를 유지하도록 권장하는 안을 채택하였으며, 3) 부착응력면을 제외한 부분에 대해서는 PVC로 감싸주어서 마찰효과를 줄여 주었다.

### 3.2 도막재료별 부착성능에 대한 분석

철근의 도막특성에 의한 부착성능을 평가하기 위한 방안으로, 철근에 발생하는 응력이 항복하중에 도달하기 이전에 콘크리트의 부착파괴가 발생되도록 실험체를 계획하여 실험을 실시하였다. 실험의 변수로는 정착철근의 도막종류별로 무도막(BS), 폴리에틸렌(PE), 에폭시(EY)로 각기 이름을 명명하였으며, 철근의 직경을 변수로 하여 각각의 실험을 수행하였다.

부착응력용 철근으로 HD19를 사용한 실험체의 비교 결과는 그림 3-2에 보인 바와 같이 폴리에틸렌 도막을 사용한 실험체는 무도막 실험체와 거의 유사한 하중-슬립 거동을 나타내었으며, 부착하중에 있어서도 무도막 실험체와 비교하여 약 88 ~ 91% 정도의 값을 나타내었다. 본 연구에서 산정한 부착하중은 실험서에 나타난 각 실험체별 최대하중으로 평가하였다.

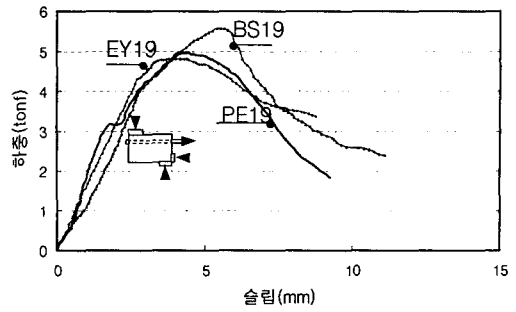


그림 3-2 HD19 철근의 하중-슬립v

### 3.3 도막종류별 부착응력 비교

도막 종류별 부착응력으로는 철근의 도막을 각각 폴리에틸렌과 에폭시를 사용하여 실험을 실시하였다. 부착응력에 대한 실험에서도 철근의 직경이 HD19인 실험체는 그림 3-3에 나타난바와 같이 폴리에틸렌 도막을 사용한 PE19 실험체는 87.2kgf/cm<sup>2</sup>를 나타내었고, BS19는 97.9kgf/cm<sup>2</sup>, EY19는 84.7kgf/cm<sup>2</sup>를 나타내었다.

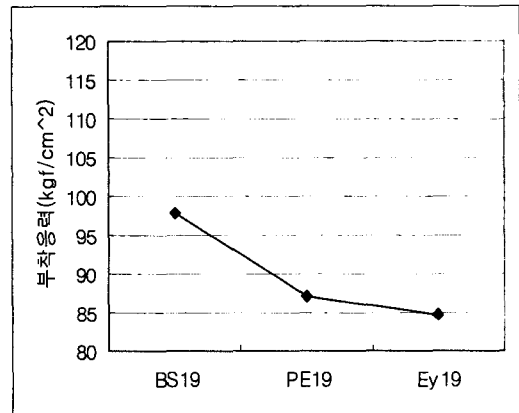


그림 3-3 HD19 정착철근에 대한 부착응력

### 3.4 도막종류별 local bond stress-slip

철근의 국부 부착응력과 slip량의 관계는 철근의 직경별 5db의 부착길이를 갖는 경우에 대하여 실시한 바, 그림 3-4에서 보여주는 바와 같이 무도막철근의 경우 철근의 직경이 커질수록 철두 부착저항능력은 감소하는 경향이

있다. 그림 3-5 에서는 폴리에틸렌도막의 경우로 국부 부착응력과 slip의 관계를 그래프로 나타내 주는데 철근의 직경이 커질수록 침투 부착저항능력은 감소하는 경향으로보아 무도막철근과 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

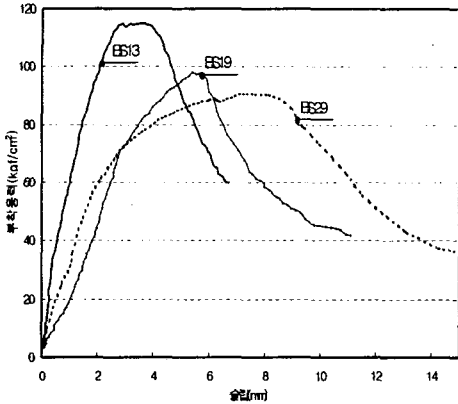


그림 3-4 무도막 철근의 부착응력-슬립

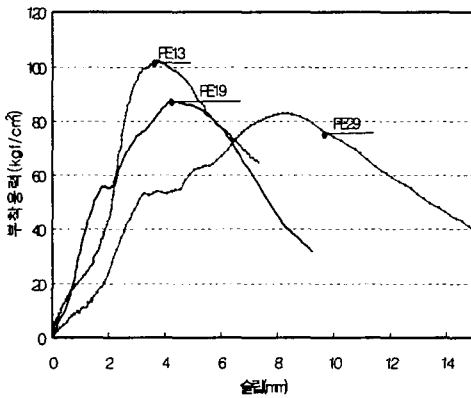


그림 3-5 PE 도막철근의 부착응력-슬립

#### 4. 결론

본 실험적 연구를 통하여 얻어진 결과는 도막을 하였을 경우에 발생하는 균열문제가 없었음을 알 수 있었고, 철근의 직경이 작을수록 부착응력은 커짐을 나타냈으며 이는 다른 논문에서의 결과치와 유사한 경향을 보임을 알 수

있었다. 또한 HD-19 철근의 경우를 살펴보면, 무도막철근의 부착응력을 100%로 보았을 경우, PE도막철근의 부착응력은 89.1%, 에폭시도막철근의 부착응력은 86.5%를 나타냈음을 보았을 때, 부착응력의 80%를 넘으면 도막철근 재료로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 (주)젠트로의 기술개발 지원사업으로 이루어졌으며, (주)위스코의 에폭시철근 지원에도 감사드립니다..

#### 참고문헌

- (1) 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”, 1996, pp. 407-411
- (2) Soroushlan, P. and Choi, K.B., “Local Bond of Deformed Bars with Different Diameters in Confined Concrete”, ACI Structural Journal, Vol. 86, No.2, Mar-Apr. 1989, pp. 217-222
- (3) 건설교통부, “국내 실정에 맞는 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화”, 1997, pp. 118-180