

직접 인발 시험을 이용한 에폭시 도막 철근의 부착 특성

Bond Behaviors of Epoxy Coated Reinforcements Using Direct Pull-out Test

김지상^{1*} · 이상현¹

Jee-Sang Kim^{1*} · Sang-Hyun Lee¹

(Received August 29, 2017 / Revised September 4, 2017 / Accepted September 4, 2017)

The corrosion of reinforcements embedded in concrete causes some durability problems in reinforced and prestressed concrete structures. The epoxy coated reinforcements are one of the effective and reliable methods to prevent corrosion of reinforcements. However, it has been known that the epoxy coating reduces the bond capacity of reinforcement to concrete. This paper investigates the bond behaviors of epoxy coated reinforcements experimentally using direct pull-out test. Bond behaviors of epoxy coated bars for various reinforcement diameters of 10, 19 and 29mm and thicknesses of cover concrete of 1, 2, 3, and $4.5c/d_b$ (ratio of cover to bar diameter) are examined. Total 66 specimens were manufactured and tested according to the RILEM standard method. As the diameters of the epoxy coated reinforcements increase, the difference of bond strength between epoxy coated reinforcements and uncoated bars also increases. Epoxy coated bars showed more than 85% bond performance compared to those of uncoated bars. A new formula for estimating basic development length of epoxy coated reinforcement based on equilibrium equation is proposed using this experimental result.

키워드 : 에폭시 도막 철근, 직접인발시험, 부착응력, 정착길이

Keywords : Epoxy coated reinforcements, Direct pull-out test, Bond Stresses, Development length

1. 서론

최근 열악한 환경에 건설되거나, 과도한 제설제의 사용에 노출되는 철근 콘크리트 구조물은 철근의 부식으로 인해 사용성과 내구성에 심각한 문제를 야기시켜 전 세계적으로 관심의 대상이 되고 있으며, 국내 건설 분야에서도 철근의 부식 방지를 최소화하기 위한 다양한 노력이 진행되고 있다. 일반적으로 철근 부식의 경우 철근을 감싸고 있는 부동태 피막의 알칼리성이 손실되는 경우 철근의 부식이 발생하기 시작하기 때문에 이를 방지하는 방법이 다양하게 제시되고 있다. 예를 들면 콘크리트의 피복두께 증가, 고성능 콘크리트 사용 및 철근의 사전음극방식, 아연도금 철근 또는 에폭시 수지 도막철근의 사용 등이 대표적인 부식 방지 방법이 될 수 있다. 그러나, 철근의 부식방지를 위한 여러 가지 방법들은 공사비 증가 및 시공성을 낮추는 문제점을 발생시키게 되어 가장 효율

적인 방법에 대한 많은 연구가 진행되었다. 미국 내 여러 자료들에 의하면 상대적인 초기공사비의 증가가 있으나, 에폭시 수지를 이용한 도막 철근의 사용이 내부식성 측면에서 탁월한 성능을 가지고 있고, 시공성과 생산성이 좋아 다른 방법에 비하여 유리한 특성을 가지고 있음이 확인되었다(Smith et al. 2000). 따라서 적극적인 철근 부식 방지 대책의 하나로 에폭시 도막 철근의 사용을 위한 지속적인 연구개발의 필요성이 증가되고 있다고 할 수 있으며, 특히 국내에서 생산되는 에폭시 도막 철근의 성능에 대한 체계적이고 지속적인 연구가 요구되는 실정이다.

현재까지 에폭시 도막 철근의 부착강도 특성에 대한 연구를 보면, 에폭시 수지를 도막한 철근은 일반 철근에 비해 저장 및 취급에 세심한 주의가 요구되어 시공성이 감소하고 초기 공사비용이 증가하며, 철근 표면의 마찰력을 저하시켜 콘크리트와의 부착성능에 문제가 있고, 일반적으로 철근의 지름이 클수록 부착력의 감소가

* Corresponding author E-mail: zskim@skuniv.ac.kr

¹서경대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Seokyeong University, Seoul, 02713, Korea)

커진다고 보고되고 있다. ACI 318 code(ACI 1989)는 처음으로 에폭시 도막 철근의 정착 길이 증가를 명시하였으며, 콘크리트의 피복두께가 철근 직경의 3배 미만 또는 철근 간격이 철근 직경의 6배 미만인 경우 1.5의 증가계수를 채택하였다(ACI 2003). 그러나 에폭시 도막 철근의 정착길이에 대한 다른 연구에서는 1.5의 정착 길이 증가계수 보다 1.25에서 1.35범위로 증가계수를 감소시킬 수 있는 가능성을 제시하였다(Choi 1990). 피복 두께에 따른 부착력의 차이는 대체적으로 큰 영향이 없다고 판단하였으나(Choi et al. 1990), 다른 연구 결과에서는 피복두께에 감소에 따른 부착력에 대한 저하와 큰 슬립이 발생하여 사용성에 문제가 있음을 보고하였다(Oh et al. 1993). 또한 에폭시 도막철근의 외부 충격에 대한 저항성은 도막두께가 두꺼울수록 커졌으며, 내부식성은 도막되지 않은 철근에 비하여 우수하였으며, 에폭시 도막이 두꺼울수록 부식이 현저하게 적게 발생한다고 보고되었다(Shin et al. 1997).

현재 국내 KS 표준(KS 1995)에서는 에폭시 도막 철근의 부착 응력이 일반 철근 대비 80% 이상을, ASTM 규격(ASTM 2014)에서는 85% 이상을 만족하여야 한다고 각각 규정되어 있음에 따라 국내에서 생산되는 에폭시 도막 철근의 부착성능은 상대적으로 외국의 제품에 대하여 열악할 것으로 판단된다. 즉, 현재 국내에서 생산되고 있는 에폭시 도막 철근의 성능 및 품질 개선을 위한 연구개발이 요구되는 상황이다.

이 논문에서는 현재 국내에 생산되고 있는 에폭시 도막 철근을 국내의 표준에 규정된 시험 항목을 적용하여 그 성능을 시험, 분석함으로써 구조물 설계를 위한 기초적 자료를 구축하고자 하는데 목적이 있다. 이를 위하여 직접 인발시험을 통하여 철근지름 및 피복 두께 변화에 따른 에폭시 도막철근과 콘크리트의 부착특성을 실험적으로 구명하였다. 또한 실험결과를 바탕으로 설계기준에서 제시하는 정착길이 증가계수를 현재 국내에서 생산되는 에폭시 도막 철근에 적용할 수 있는지 평가하고, 새로운 정착길이 산정식을 제안하였다.

2. 실험 개요

부착특성 평가에 대한 실험 방법 중 편의성과 재현성이 인정되어 가장 널리 사용되고 있는 실험법의 하나인 Euro code(2004)의 직접 인발 시험법을 이용하여 철근의 종류에 따른 철근의 지름(d_b) 및 철근 지름에 대한 피복두께의 비(c/d_b)를 주 변수로 하여 실험을 진행하였다. 실험체의 제작에 있어 에폭시 도막 철근과 일반 철근은 KS표준에 따라 생산한 D10, D19 및 D29를 사용하였고, 피복두

께는 D10, D19의 경우 1, 2, 3, $4.5c/d_b$ 4개씩 D29의 경우 실험설비의 용량을 고려하여 1, 2, $3c/d_b$ 3개씩 총 66 개의 시편을 제작하였다. 이 때 사용한 콘크리트의 압축 강도는 30MPa를 목표로 제작하였는데, 인발실험을 실시하는 시기에 콘크리트의 압축강도 시험 결과, $f_c = 29.3\text{MPa}$ 로 측정되었다.

2.1 실험체 제작

실험체는 KS D 3629 표준의 시험법을 기준으로 부착 길이는 $4d_b$ 로 적용하여 Fig. 1과 같이 비부착 구간에 아크릴관을 설치하여 부착구간과 비부착 구간을 구분하였다. 실험체의 크기는 철근의 지름에 따라 피복두께를 변화시키기 위하여 Fig. 10에 보인 것처럼 제작하였다.

2.2 실험 절차

실험은 Fig. 2에 보인 것처럼 제작된 시편을 용량 500kN의

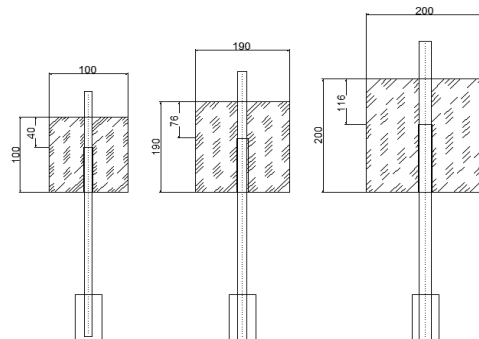


Fig. 1. Pull-out specimens

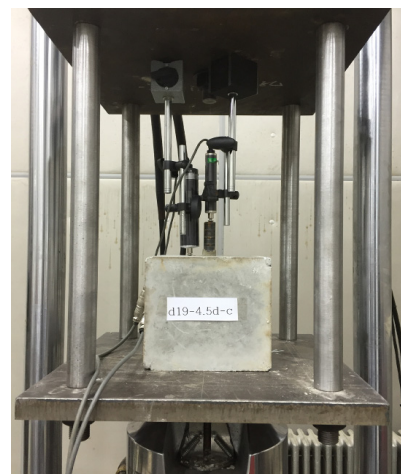


Fig. 2. Experimental setup

UTM에 배치한 후 철근과 콘크리트에 LVDT를 설치하고 D10, D19 및 D29 철근의 재하 속도를 KS 표준에 따라 철근에 발생하는 인장 응력을 기준으로 하여 0.25, 0.5, 0.75mm/min의 속도로 재하하면서 철근과 콘크리트 사이의 상대변위를 측정하고 재하 하중과 상대변위량을 기록하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 파괴양상

실험체의 파괴 양상은 철근의 피복 두께에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 철근의 피복두께가 1 및 $2c/d_b$ 일 경우 에폭시 도막 철근과 일반 철근 대부분에서 콘크리트에 쪼갬 균열이 발생하였으며, D10 과 D19철근의 경우 3, $4.5c/d_b$ 에서 철근이 시편에서 빠져나오는 미끌림 현상이 일어났다. 철근의 지름이 29mm일 때는 피복두께 1 및 $2c/d_b$ 뿐 아니라 $3c/d_b$ 에서도 Fig. 3과 같이 시편의 대각선 방향으로 균열이 발생하며 파괴가 일어났다. 이는 에폭시 도막 철근과 일반 철근 모두에서 동일하게 발생하였다. 즉, 피복이 큰 실험체의 경우 충분한 부착이 확보되어 콘크리트의 균열 발생 없이 미끌림에 의한 실험체의 파괴가 일어났으며, 피복두께가 작아질 경우에는 철근과 콘크리트의 부착이 유지되며, 균열에 의한 파괴가 발생하였다. 요구되는 피복두께가 확보되는 경우 쪼갬 발생없이 부착이 유지되었으나, 피복이 부족한 경우 균열이 발생하는 양상을 나타내었다. 이 논문에서는 에폭시 도막철근의 부착강도를 추정하는데 목적을 두었으므로 파괴양상과 관계없이 하중의 재하가 멈추는

상태를 부착파괴로 보고 이때의 응력을 부착강도로 산정하였다.

3.2 부착강도 산정

실험을 통해 얻은 파괴하중 값으로부터 식 (1)을 사용하여 부착 응력을 산정하였다.



(a) Bond failure



(b) Splitting failure

Fig. 3. Failure modes

Table 1. Summary of pull-out tests(MPa)

Surface condition	Uncoated bars		Epoxy coated bars		Ratio of bond strength(2)/(1)
Diameter (mm)	c/d_b	Bond strength (MPa) (1)	c/d_b	Bond strength (MPa) (2)	
10	1	12.52	1	12.14	0.97
	2	12.84	2	11.87	0.92
	3	13.49	3	11.80	0.87
	4.5	10.90	4.5	13.03	0.84
19	1	10.88	1	11.56	1.06
	2	13.89	2	13.70	0.94
	3	14.45	3	12.56	0.87
	4.5	14.30	4.5	12.23	0.85
29	1	13.11	1	13.20	1.01
	2	13.25	2	13.80	1.04
	3	14.60	3	14.44	0.99

$$U = \frac{1}{l_{bd}\pi} \frac{F_a}{d_b} \quad (1)$$

여기서 U는 부착응력, F_a 는 파괴하중, d_b 는 철근의 지름, l_{bd} 는 철근의 부착길이이다.

철근의 지름 및 피복 수준에 따른 부착강도를 Table 1에 정리하였다.

3.3 철근지름에 따른 부착강도

에폭시 도막 철근과 일반 철근의 지름에 따른 부착 강도 변화는 Table 1와 Fig. 4에 보인 것처럼 부착응력은 철근의 지름의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 또한 일반 철근 대비 에폭시 도막 철근의 부착 성능은 모든 지름의 철근에서 80% 이상을 발휘하였으며, 철근 지름이 증가함에 따라 에폭시 도막 철근과 일반철근과

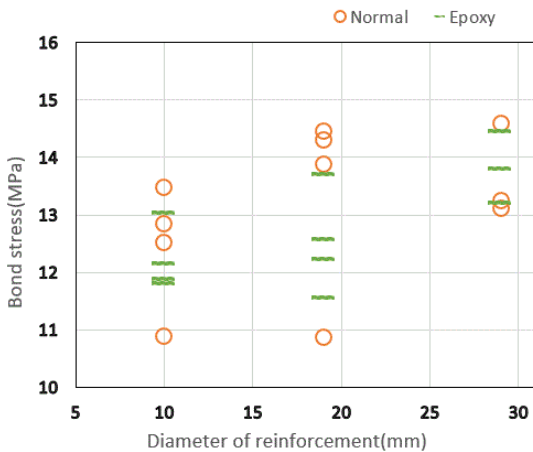


Fig. 4. Bond strength for various reinforcement diameters

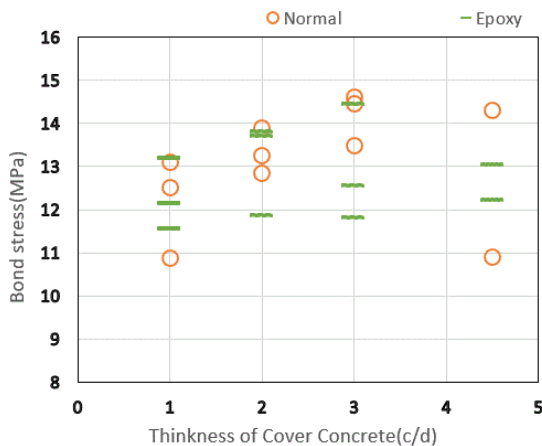


Fig. 5. Bond strength for various thickness of concrete

의 부착력 차이는 커지는 경향을 보였다. D29의 경우는 대부분이 콘크리트와 철근의 부착파괴가 아닌 쪼갬파괴가 발생하여 에폭시 도막 철근과 일반 철근의 부착력의 차이를 확인하지 못하였다.

3.4 피복두께에 따른 부착강도

에폭시 도막 철근과 일반 철근의 피복두께에 따른 부착강도의 변화는 Table 1과 Fig. 5에 보이는 것과 같다. 피복두께가 작아짐에 따라 철근의 부착강도는 감소하는 것으로 나타났으나, 그 경향은 뚜렷하지 않았다. 이는 피복두께가 작은 시편에서 철근과 콘크리트 사이의 완전한 부착이 확보되지 않아 콘크리트의 쪼갬에 의한 파괴가 주로 일어났으므로 피복두께의 영향을 고려하기에는 부적절한 것으로 판단된다.

3.5 에폭시 도막 철근의 부착강도 평가

이 실험의 일반철근 대비 에폭시 도막철근의 부착성능은 콘크리트와 철근의 부착파괴가 아닌 쪼갬파괴 발생 실험 결과값을 제외할 경우 약 85%의 성능을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 Fig. 6에 보이는 것과 같이 현재 국내 규격에 따라 생산되고 있는 에폭시 도막 철근의 부착강도 성능은 국내 KS표준은 만족하는 것으로 평가된다. 그러나 미국 ASTM규격인 일반철근의 85% 성능에 완벽히 만족하다고 평가하기에는 미흡한 성능을 가진다고 판단되어 국제적인 규격에 맞춰 미국의 ASTM과 ISO의 최소 부착 기준인 85%의 성능을 만족하기 위한 개선된 에폭시 도막 철근이 필요한 것으로 사료된다.

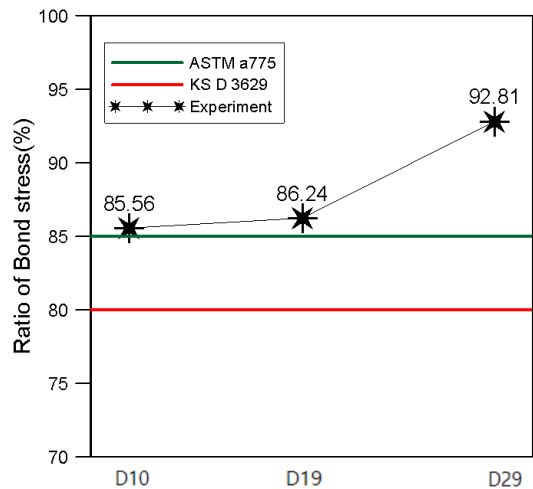


Fig. 6. Comparison of ratio of bond stress

4. 정착길이

4.1 이론적 배경

높은 응력을 받는 철근은 상대적으로 얇은 콘크리트 단면을 따라 뜯개지려는 경향이 있으므로 소정의 정착 길이가 필요하며, 실제 설계에서 정착 길이는 철근에서 발생하는 최대 응력점을 지나 철근이 확보해야 할 최소 문힘 길이를 의미한다. 따라서 일반철근에 비해 상대적으로 부착능력이 감소하는 에폭시 도막 철근의 경우 보정계수를 통하여 정착길이를 증가하여 산정식을 제시하고 있다. 한국콘크리트학회의 콘크리트 구조기준(KCI 2012)과 ACI 설계기준 (ACI 2014)에서는 정착 길이 산정식을 식 (2)와 같이 제시하고 있다.

$$l_d = \frac{0.6\alpha\beta d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (2)$$

여기서 α 는 철근 배치 위치 계수이며, β 는 철근 도막계수로 본 실험의 에폭시 도막 철근의 정착길이를 계산할때에는 α 는 1.0으로 하고, β 는 철근도막계수는 1.5를 적용하여, 정착길이를 산정도록 하고 있다.

또한 한국교량및구조공학대학교량설계핵심기술연구단(2015)의 한계상태법에 의한 도로교 설계기준(KIBSE 2015)과 Eurocode 2(CEN 2002)에서는 철근의 정착 길이를 콘크리트에 묻혀 있는 철근이 힘을 받을 때 뽑히거나 미끌림 변형이 발생하는 일 없이 항복강도를 발휘할 수 있게 하는 최소한의 문힘 길이로 정의하며 l_d 로 표시한다. 이 정착 길이는 철근과 콘크리트 사이 계면의 부착 강도와 직접 관련되어 있다. 이 기준들에서 제시하고 있는 일반 이형 철근의 설계부착강도 f_{bd} 는 식 (3)와 같다.

$$f_{bd} = \phi_c 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} \quad (3)$$

여기서 ϕ_c 는 콘크리트 재료계수로서 극한하중조합의 경우 $\phi_c = 0.65$ 를 사용한다. η_1 은 철근의 위치에 따라 변하는 부착 상태를 반영하는 보정 계수로서, 보통의 경우 $\eta_1 = 1.00$ 이며, 부재 단면에서 300mm 이상의 높이에 배치된 상부 철근인 경우 $\eta_1 = 0.7$ 을 적용한다. η_2 는 철근 지름의 영향을 반영하는 계수로 지름 d_b 가 32mm 이하인 경우는 $\eta_2 = 1.00$ 이고, 그 이상의 큰 지름을 갖는 철근인 경우에는 $\eta_2 = (132 - d_b) / 100$ 를 사용한다.

f_{ctk} 는 콘크리트 기준인장강도로 실험에 의하여 따로 구하지 않는 경우 압축강도를 기준으로 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$f_{ctk} = 0.21 (f_c)^{2/3} \quad (4)$$

철근 주위에 작용하는 설계부착강도 f_{bd} 의 합과 철근의 설계 항복력 $f_{yd} A_s$ 는 평형을 이루어야 하므로 식 (5)와 같은 관계가 성립되어야 한다.

$$f_{bd} \pi d_b l_d = f_{yd} \frac{\pi d_b^2}{4} \quad (5)$$

이 식으로부터 정착 길이 l_d 는 식 (6)과 같게 된다.

$$l_d = \frac{f_y d_b}{4 f_{bd}} \quad (6)$$

4.2 기존 정착길이 산정식 비교

현재 설계기준(KIBSE 2015)의 경우 콘크리트의 부착강도를 식 (3)에 보인 것과 같이 콘크리트의 인장강도로부터 추정하고 있다. 이 논문에서는 철근과 콘크리트의 부착강도를 이 논문의 실험에서 구한 값을 이용하여 직접 산정하는 방식을 이용하여 정착길이를 산정하는 방법을 제안하였다. 콘크리트의 강도 기준값으로는 일반적으로 강도의 확률분포 특성에서 강도 미발현확률이 0.05에 해당하는 확률적 특성값을 사용하기 때문에, 실험을 통해 산정한 부착 강도를 확률 분포도에서 그 값 이하로 강도가 발현될 확률이 0.05에 해당하는 확률적 특성값의 강도 값을 평균값(μ)과 표준편차(σ)를 이용하여 철근과 콘크리트의 기준설계부착강도(f_{bdk})를 Table 2와 같이 산정하였다.

Table 2. Statistics of bond strength, f_{bdk}

Condition	Average value, μ (MPa)	Standard deviation, σ	f_{bdk} (MPa)
Normal	14.37	0.36	13.48
Epoxy	12.40	0.41	11.38

Table 3. Comparison of bond strength

Condition	Proposed, $\phi_c f_{bdk}$ (MPa)	f_{bdc} (MPa)
Normal	8.76	2.97
Epoxy	7.40	2.08

Table 4. Basic development lengths(mm)

Estimation method(MPa)	Bar diameter(mm)		
	D10	D19	D29
KCI, ACI 318-14 normal	438	833	1271
KCI, ACI 318-14 epoxy	657	1249	1906
Eurocode2 normal	304	577	880
Eurocode2 epoxy	434	824	1257
Experiemental normal	103	122	438
Experiemental epoxy	122	231	353

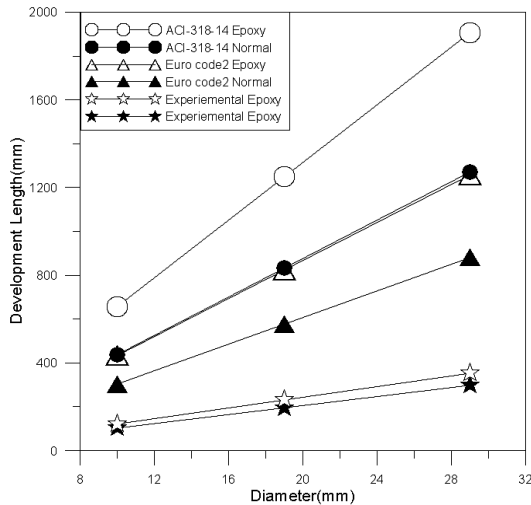


Fig. 7. Comparison of basic development lengths for epoxy - coated reinforcement

산정한 기준설계 부착강도(f_{bdk})에 콘크리트 강도계수 $\phi_c = 0.65$ 를 곱한 값과 본 실험에서의 에폭시 도막 철근과 일반 철근의 부착력에 따라 식 (3)을 통해 구한 설계부착강도(f_{bd})값을 비교한 결과는 Table 3과 같다.

Table 4와 Fig. 7에 실험을 통하여 구한 일반철근과 에폭시 도막 철근의 부착강도값을 통하여 구한 정착길이 값과 기존의 산정식의 결과와 비교하였다. 이때 기존의 산정식에 사용한 부착강도는 압축강도 값으로 구하는 방법을 취하였다. 이 논문에서 제시하고 있는 방법에 의한 정착길이 산정값이 설계기준에서 제시하고 있는 값과 큰 차이를 보이는 것은 현행 설계 기준과 달리 부착강도를 직접 산정하는 데서 비롯된 것으로 판단된다. 추후 실험결과와 축적 등을 통하여 부착강도에 대한 신뢰성을 확보하는 경우 이 논문의 제안 방법에 따른 정착길이의 산정이 보다 합리적인 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

Euro Code2의 평형방정식에 기초하여 에폭시 도막 철근과 일반 철근의 부착 응력 실험값을 통해 산정한 정착길이 값은 ACI와 Euro Code2에 비해 부착특성 및 정착길이를 합리적으로 평가 할

수 있다고 판단된다. 또한 실험결과에 따른 정착길이를 비교해서 보면 에폭시 도막 철근과 일반철근의 정착길이 차이는 설계기준의 에폭시 도막철근과 일반철근 정착길이 차이보다 크지 않다. 따라서 기존 ACI에서의 피복두께가 $3c/d_b$ 이하일 경우의 1.5의 정착길이 증가계수를 보다 낮은 1.2 또는 1.3의 증가계수로 $3c/d_b$ 이상일 경우의 1.2의 증가계수를 보다 낮은 1.1을 증가계수로 적용할 수 있을 것이라 판단되며, 실험 자료 등의 축적을 통한 신뢰도 제고가 필요할 것이다.

5. 결론

이 연구에서는 에폭시 도막 철근의 부착특성을 합리적으로 평가하기 위해 철근의 에폭시 도막의 유무, 철근의 지름, 철근의 지름에 대한 피복 두께비를 주요 변수로 하여 직접 인발 시험을 수행하였다. 이 결과를 분석하여 기존의 정착길이 산정식에서의 에폭시 도막 철근에 따른 증가계수를 낮추는 것을 제안하였다.

1. 에폭시 도막 철근의 부착응력은 에폭시 도막으로 인한 표면 마찰력의 감소로 인하여 콘크리트와 철근사이의 구속력이 감소함에 따라 부착응력이 일반철근에 비하여 감소하는 것으로 나타났다.
2. 철근의 지름이 증가함에 따라 일반 철근 대비 에폭시 도막 철근의 부착성능의 차이는 커지는 경향을 보였다.
3. 콘크리트 피복이 $2c/d_b$ 이하일 경우 쪼갬파괴가 주로 발생하였으며, 쪼갬파괴가 발생하였을 경우에는 에폭시 도막 철근과 일반 철근의 부착성능을 직접 비교 판단하기에는 어려우나, 전체적인 부착강도의 비교에 적용할 수는 있을 것으로 판단된다.
4. 본 실험에서 사용된 현재 국내 표준에 따라 생산된 에폭시 도막 철근은 국내 KS표준인 일반철근 대비 80%의 성능 발휘에는 만족한다고 확인되었으나, 미국 ASTM의 85%에 만족하기에는 성능 개선이 필요하다고 판단된다.
5. Euro Code2의 평형방정식에 기초하여 에폭시 도막철근과 일반철근의 부착력 실험값을 통해 산정한 정착길이 값의 차이는 ACI와 Euro Code2의 철근 표면상태에 따른 증가계수를 합리적으로 평가 할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업(17SCIP-C120791-02)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

다. 이에 감사드립니다.

References

ACI 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI318-14).

ACI 408R-03. (2003). Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension.

ASTM A775/A775M. (2014). Standard Specification For Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars ASTM international.

CEB-FIP. (1991). “CEB-FIP Model Code 1990,” Comite Euro International Du Beton.

CEN. (2002). Eurocode 2 : Design of Concrete Structures Part 1: General Rules and Rules for Buildings.

Choi, O.C. (1990). Bond Strength of Epoxy-coated Reinforcement to Concrete, University of Kansas, 217.

Choi, O.C., Hadje-Ghaffari, Hossain., Darwin, David., McCabe, L. Steve. (1990). Effects of coating on the bond strength of reinforcing bars, Journal of the Korean Concrete Institute, KCI, **2(2)** [In Korean].

fib. (2009) Corrosion protection of reinforcing steels, fib, Bulletin 49, Switzerland.

Korea Concrete Institute (2012). Structural Code for Concrete Structures [in Korean].

KS D 3629 (1995). Fusion Bonded Epoxy Coated Reinforcing Steel Bars [In Korean].

Korean Institute of Bridge and Structural Engineers (2015). Korea Highway Bridge Design Code – Limit State Design.

Oh, B.H., Um, J.Y., Kwon, J.H. (1992). An experimental study on corrosion resistance of epoxy coated reinforcements, Journal of the Korean Concrete Institute, **4(4)**, 161-170 [in Korean].

RILEM (1970). Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials: RC 6, Bond Test for Reinforcement Steel. 2. Pull-out Test.

Shin, Y.S., Choi, O.C. (1997). Bond properties of epoxy coated bars in high strength concrete, Journal of the Architectural Institute of Korea, **13(6)**, 209-213 [in Korean].

Smith, J.L., Virmani, Y.P. (2000). Materials and Methods for Corrosion Control of Reinforced and Prestressed Concrete Structures in New Construction, FHWA-RD-00-081.

직접 인발 시험을 이용한 에폭시 도막 철근의 부착 특성

철근 콘크리트 구조물에 있어서 철근의 부식은 구조물의 내구성 측면에서 심각한 문제를 야기하고 있으며, 이에 대한 효율적인 대책의 하나로 에폭시 도막 철근의 사용이 제시되고 있으나, 철근 표면의 에폭시 도막으로 인하여 콘크리트와의 부착 성능이 저하되는 문제점이 발생하게 된다. 이를 정확히 평가하고 대안을 제시하기 위한 기초단계로 이 연구에서는 현재 국내에서 생산되는 에폭시 도막 철근의 직접 부착 실험을 수행하고 부착성능을 평가하였다. 에폭시 도막 철근의 부착 실험은 지름 10, 19, 29mm의 철근에 대하여 콘크리트 피복두께를 철근 지름의 1, 2, 3, 4.5배로 하여 수행되었다. 총 66개의 시편이 RILEM 시험법에 따라 실험이 진행 되었는데, 에폭시 도막 철근의 지름이 증가할수록 에폭시 도막 철근과 일반철근의 부착응력 차이가 증가하였으며, 도막두께의 영향은 뚜렷하지 않았다. 또한, 에폭시 도막 철근의 부착강도는 KS 표준에 제시된 제한값인 일반 철근 대비 85%의 부착성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이 실험의 결과에 근거하여 평형방정식에 기초한 에폭시 도막 철근의 정착길이 증가계수를 수정한 새로운 산정식을 제안하였다.