

에폭시수지 도막 철근콘크리트의 부착특성 연구

Bond Behavior of Epoxy Coated Reinforced Concrete

오 병 환* 엄 주 용** 권 지 훈**
Byung Hwan Oh Joo Yong Um Jee Hun Kwon

요 지

철근의 부식은 철근 콘크리트 구조물에 있어서 심각한 열화현상을 유발할 수 있으며 최근 들어 이로 인한 피해가 많이 보고되고 있다. 이와 같은 부식의 억제방안중 철근에 직접 에폭시를 도막하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 이 경우 에폭시 도막에 따른 부착성능의 저하가 우려되는바 본 연구는 철근부식방지를 위해 에폭시를 도막한 철근의 부착특성을 고찰하기 위해 수행되었다. 주된 변수는 콘크리트 압축강도, 부착길이, 에폭시 도막두께이며 각 변수별로 부착특성의 변화를 관찰하였고 이를 통해 에폭시도막 철근의 사용성을 검토하였다. 본 실험결과에 기초하여 부착강도 예측식을 제안하였고 실험결과와 예측치를 비교하였다.

ABSTRACT

The corrosion of steel is recognized as a reason of deterioration in reinforced concrete structures. Epoxy coating on rebar is the most effective anticorrosive method. In the present study, the bond behavior of epoxy-coated reinforced concrete is investigated. The major test variables are epoxy coating thickness, concrete strength and embedment length. Realistic prediction formula to calculate the bond strength of epoxy-coated reinforced concrete is proposed. The present study provides a firm base to employ the epoxy coated rebar in actual practices.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물에 있어서 철근의 부식은 대단히 심각한 문제를 유발하는 것으로 알려져 있고 따라서 이를 제어하고자 하는 연구 역시 다각도로 수행되어 왔다. 이와 같은 부식방지 대책 가운데 철근에 수지를 도막하는 방법이 가장 적극적인 방안이라 할 수 있으나 수지도막에 따른 부착강도의 저하가 우려되어 사용의 제약을 받아왔다. 완전히 이형재료인 철근과 콘크리트

리트의 부착거동이 철근 콘크리트의 물리적 성질에 있어서 중요한 요소가 되는 이유는 철근 콘크리트의 구조 해석이 기본적으로 철근 콘크리트가 외부 하중의 작용에 대해 소요의 성능을 가진 구조 재료로 사용되기 위해서는 철근과 콘크리트 각각의 강도가 충분해야 함은 물론 이들간의 부착강도 역시 적정선 확보되어야 하며, 또 인장축 콘크리트에 많은 균열이 발생한 상태에서 철근은 콘크리트와 일체로 거동할 수 있어야 하기 때문이다. 따라서 철근과 콘크리트간의 부착을 저해하는 어떠한 재료도 사용은 피해야 함은 자명하다. 그러나 최근 부식에 의한 피해가 대단히 많이 보고되고 있으며 수지도막 철근의 제조기

* 서울대학교 토목공학과 교수

** 서울대학교 토목공학과 박사과정 수료

*** 서울대학교 토목공학과 석사과정

법도 상당히 발전되어 앞으로 이의 사용은 불가피할 것으로 사료된다. 외국의 경우는 일부 구조물에 대해서 강제 규정을 두어 에폭시 수지도막을 사용하도록 하고 있으며 일반 구조물의 경우에 있어서도 완전한 상용단계에 이르러 있다. 따라서 본 연구의 목적은 국내에서 실용화가 검토되고 있는 에폭시수지 도막 철근 콘크리트의 부착 성능을 고찰하는데 있는 바 이를 위해 철근과 콘크리트의 기본적인 부착거동을 최근 사용되고 있는 중강도 콘크리트에서 고강도 콘크리트에 걸쳐 폭넓은 실험을 통해 결과를 획득하고 이를 기초로 수지 도막 철근의 적용에 따른 각종 특성을 규명하고자 하였다. 이상과 같은 과정을 통해 얻어진 결과에 대해 ACI 규정상 부착강도식과 비교하여 그 사용성을 검토하였다. 다음으로 부착강도 예측공식을 본 실험변수에 대해 제안하였다.

2. 에폭시도막 철근 콘크리트의 부착 특성 실험

2.1 실험변수 및 시편기호

부착강도의 가장 큰 변수라 할 수 있는 콘크리트의 압축강도를 300, 400, 500 kg/cm^2 을 목표로 두었고 315, 390, 490 kg/cm^2 의 압축강도를 얻었다. 다음으로 수지 도막 여부와 도막된 경우 그 두께에 따라 부착거동이 어떻게 변화하는가를 고찰하기 위해 0.15 mm, 0.25 mm 로 수지가 도막된 철근에 대해 수지가 도막되지 않은 일반 철근의 경우와 비교하였다. 다음 변수로는 철근의 묻힘길이를 두었는데 본 실험에 사용된 철근 시편의 직경 19 mm 에 대해 5배, 10배, 15배의 세 종류로 나누었다. 따라서 15D의 경우 28.5 cm의 묻힘길이가 요구되며 이 시편의 크기는 ASTM 규정상의 시편 크기의 약 2배가 된다. 이상 살펴본 바와 같이 본 실험의 주된 변수는 콘크리트의 압축강도, 수지도막 여부와 도막 두께, 철근 묻힘 길이이다. 아래 표 1은 본 실험의 시편기호를 변수별로 보인 것이다.

표 1. 시편 기호

Number of Test Specimen	Concrete Strength (kg/cm^2)	Coating Thickness (mm)	Embedment Length (mm)
3-NC-NSH-15D	315	0	285
3-NC-NSH-10D			190
3-NC-NSH-5D			95
3-15C-NSH-15D		0.15	285
3-15C-NSH-10D			190
3-15C-NSH-5D			95
3-25C-NSH-15D		0.25	285
3-25C-NSH-10D			190
3-25C-NSH-5D			95

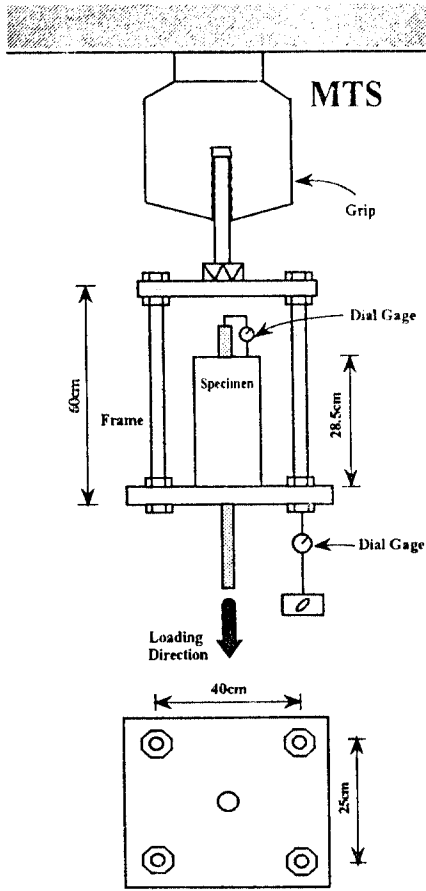
Number of Test Specimen	Concrete Strength (kg/cm^2)	Coating Thickness (mm)	Embedment Length (mm)
4-NC-NSH-15D	390	0	285
4-NC-NSH-10D			190
4-NC-NSH-5D			95
4-15C-NSH-15D		0.15	285
4-15C-NSH-10D			190
4-15C-NSH-5D			95
4-25C-NSH-15D		0.25	285
4-25C-NSH-10D			190
4-25C-NSH-5D			95

Number of Test Specimen	Concrete Strength (kg/cm^2)	Coating Thickness (mm)	Embedment Length (mm)
5-NC-NSH-15D	490	0	285
5-NC-NSH-10D			190
5-NC-NSH-5D			95
5-15C-NSH-15D		0.15	285
5-15C-NSH-10D			190
5-15C-NSH-5D			95
5-25C-NSH-15D		0.25	285
5-25C-NSH-10D			190
5-25C-NSH-5D			95

2.2 실험방법 및 실험장치

철근의 부착시험 방법으로는 일단 인발 시험법을 채택하여 평균부착응력을 구하였다. 주 실험장치는 미국 MTS사의 용량 50 ton 만능 재료시험기이며 주 실험기에 장착한 보조 프레임은 특수 열처리 합금으로 제작하여 변형을 최대한 억제하였다. 슬립은 자유단으로부터 측정하였고 1/100 mm 까지 측정 가능한 다이얼 게이지를 사용하였다. 아래 그림 2는 시편 장착도이다.

그림 2. 시편 장착도



25C-NSH-15D	67	4	70	6	70	3
	63	8	68	9	70	6
25C-NSH-10D	80	15	88	10	111	7
	84	14	93	11	79	11
25C-NSH-5D	100	19	180	28	210	16
	71	58	190	12	191	4

ACI Code 는 부착응력을 콘크리트 압축강도의 향으로 표시하는데 이는 다음과 같다. 여기서의 단위는 psi와 in 이다.

$$U = \frac{9.5}{d_b} \sqrt{f'_c} < 800 \text{psi} \quad (3.1)$$

물론 이 규정은 800 psi 이상의 부착강도에 적용이 불가하다는 제약이 있으나 본 실험결과와의 비교를 위해 모든 강도 변수에 대해 이 식을 적용하였고 이는 다음 그림 3, 4, 5 와 같다.

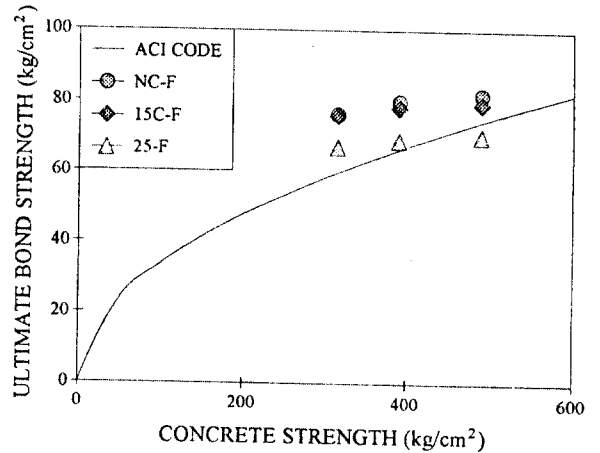


그림 3. 실험결과와 ACI 부착강도식의 비교(부착길이 28.5 cm)

3. 실험결과의 분석 및 고찰

3.1 실험결과 및 ACI 규정과의 비교

아래 표 2는 본 실험결과 얻어진 변수별 부착응력 및 슬립이다.

표 2. 부착응력 및 슬립 측정 결과

Concrete Strength (kg/cm ²)	315		390		490	
	Bond Strength (kg/cm ²)	Slip (x10 ⁻² mm)	Bond Strength (kg/cm ²)	Slip (x10 ⁻² mm)	Bond Strength (kg/cm ²)	Slip (x10 ⁻² mm)
NC-NSH-15D	74	3	77	3	83	0
	79	5	83	1	86	0
NC-NSH-10D	110	8	122	1	130	0
	118	4	128	2	125	0
NC-NSH-5D	220	6	224	1	236	0
	218	12	213	4	222	3
15C-NSH-15D	72	1	78	1	80	0
	80	4	77	1	82	0
15C-NSH-10D	108	10	110	8	120	1
	120	8	122	6	128	2
15C-NSH-5D	205	5	210	10	232	10
	215	17	220	16	228	11

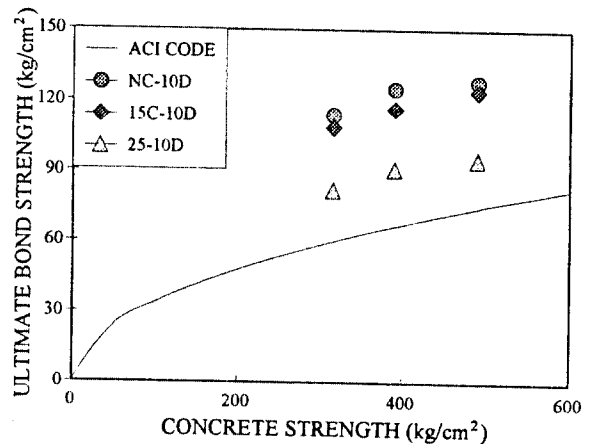


그림 4. 실험결과와 ACI 부착강도식의 비교(부착길이 19 cm)

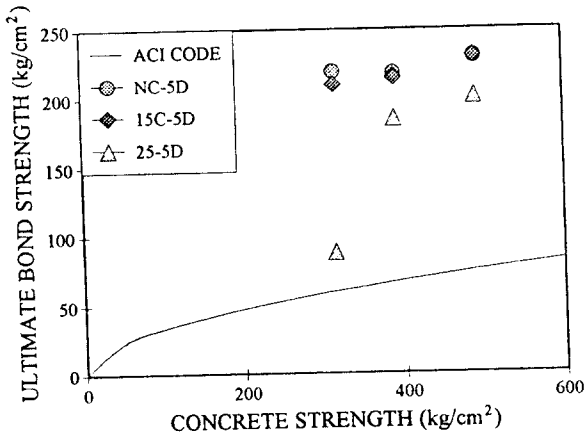


그림 5. 실험결과와 ACI 부착강도식과의 비교(부착길이 9.5 cm)

그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 본 연구결과의 경우 부착길이가 ASTM 규정의 두배이고 에폭시가 0.25mm 도막된 경우의 부착응력만 제외하고 모든 경우에 있어 ACI 규정 부착강도를 상회하고 있음을 알 수 있다.

3.2 에폭시도막 두께에 따른 부착특성의 변화

ACI 318-89 Code는 부재 상부에 에폭시 도막철근을 배근할 경우 그 부착길이를 1.5배로 늘릴것을 규정하고 있다. 이는 에폭시 도막으로 인한 부착강도의 저하가 약 1/3에 이를것으로 간주하여 설정된 것이다. 이외의 경우는 1.2배의 부착길이를 취하고 있는데 이 규정의 근거는 약 17% 정도의 부착강도 저하로 설명될 수 있다. 따라서 수지를 도막한 경우의 본 실험결과 역시 이에 기준하여 비교하였다. 에폭시도막두께가 0.15mm 인 경우 부착강도의 저하는 비교적 미약한 편이어서 모든 경우에 있어 부착강도는 이 규정을 상회하고 있다. 슬립 역시 약간 늘어남을 알 수 있으나 규정대로 부착길이를 1.2배로 증가시킬 경우 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 반면 에폭시를 0.25mm의 두께로 도막한 경우 에폭시를 도막하지 않은 철근에 비해 상당한 부착강도 저하를 나타내며 그 양상 역시 일정하지 않았다. 슬립의 경우도 상대적으로 크게 발생하였다. 표 3은 에폭시도막에 따른 부착강도 저하를 보인 것이며 그림 6, 7, 8은 이를 도시한 것이다.

표 3. 에폭시도막에 따른 부착강도 변화

Specimen No. / Coating Thickness	Non Coating	0.5mm Coating	0.25mm Coating
3-NSH-15D	100	99.3	87.6
3-NSH-10D	100	95.2	71.9
3-NSH-5D	100	100	39.2
4-NSH-15D	100	97.8	86.3
4-NSH-10D	100	93.2	72.8
4-NSH-5D	100	98.4	89.5
5-NSH-15D	100	96.4	83.8
5-NSH-10D	100	96.9	74.2
5-NSH-5D	100	100	87.4

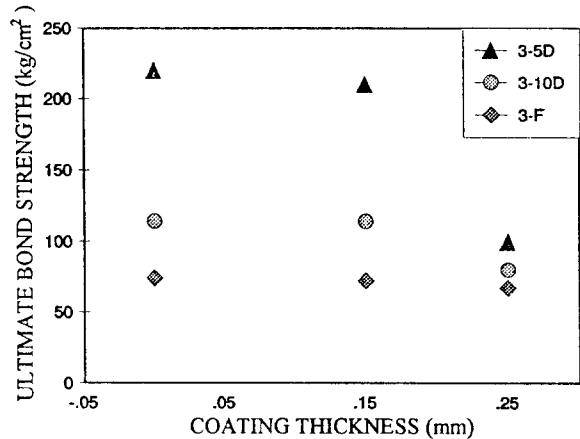


그림 6. 에폭시도막 두께에 따른 부착응력의 변화(콘크리트 강도 315kg/cm²)

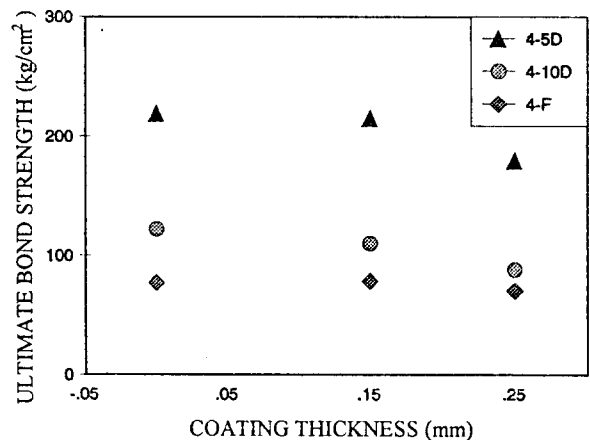


그림 7. 에폭시도막 두께에 따른 부착응력의 변화(콘크리트 강도 390kg/cm²)

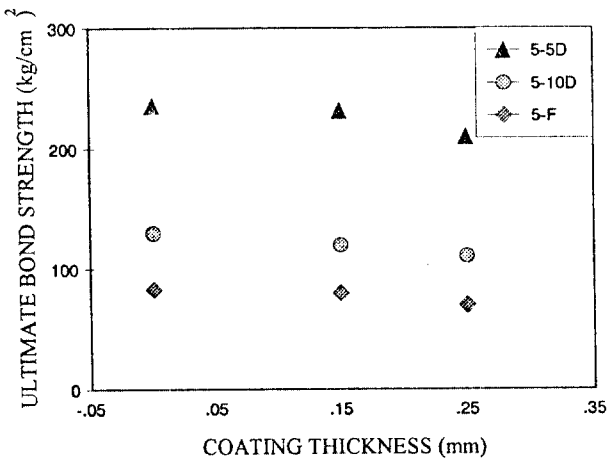


그림 8. 에폭시도막 두께에 따른 부착응력의 변화(콘크리트 강도 490kg/cm²)

3.3 철근 부착길이에 따른 부착거동의 변화

표 2로부터 알 수 있는 바와 같이 부착길이에 따른 변화는 부착응력에 대해서는 각 종 변수의 영향이 크지 않은데 비해 슬립의 발생량은 묻힘길이가 짧아질수록 다른 변수와 무관하게 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 소기의 부착특성을 발휘하도록 하기 위해서는 단순히 부착강도적인 측면만을 따져서 부착길이를 정하는 것은 의외의 결과를 초래할 수 있으므로 반드시 슬립 발생량을 염두에 두고 설계에 임해야 한다. 수지도막 유무와 철근부착길이의 상호 관계를 살펴보면 수지를 0.15mm 도막한 경우 미도막에 비해서 50% 정도 슬립이 증가함을 알 수 있는바 수지도막 철근 사용시 이를 고려해야 할 사항인 것으로 사료된다. 다음 그림 9, 10, 11은 이러한 영향을 고찰하기 위해 보인 것이다.

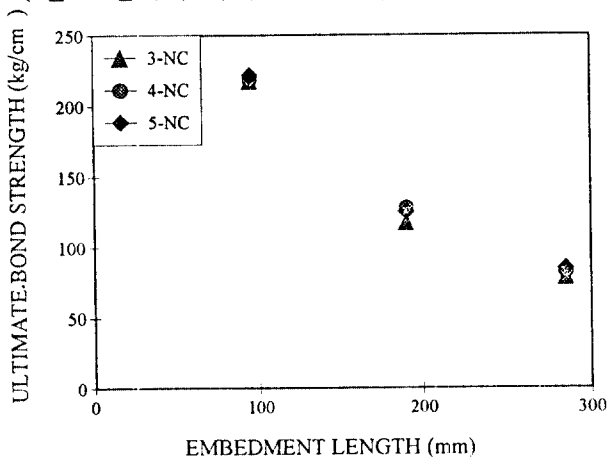


그림 9. 부착길이에 따른 부착응력의 변화 (미도막)

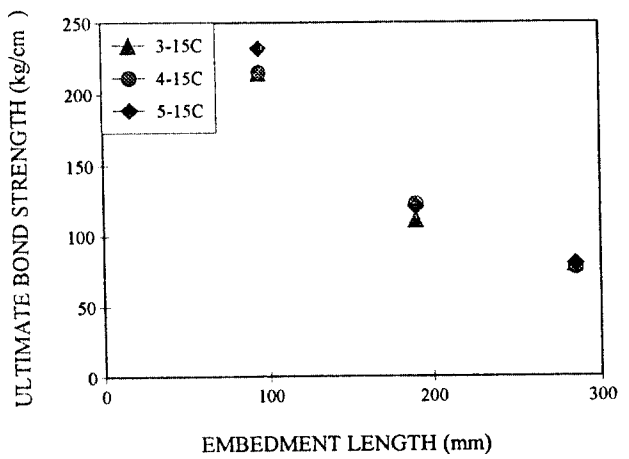


그림 10. 부착길이에 따른 부착응력의 변화 (0.15mm도막)

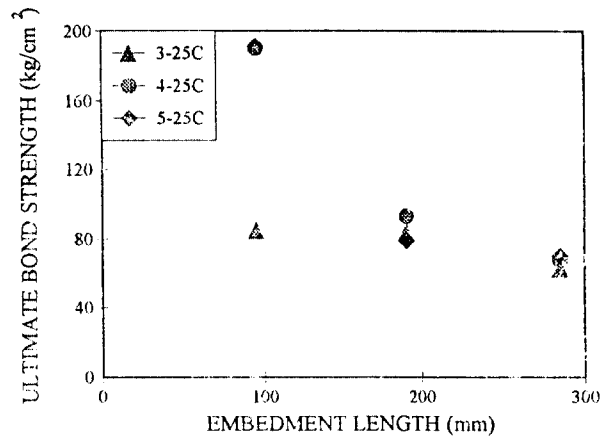


그림 11. 부착길이에 따른 부착응력의 변화 (0.25mm도막)

3.4 부착강도 예측공식

부착강도를 예측하기 위한 공식은 몇몇 연구자들에 의해 수행된 바 있는데 아래 식 3.2는 1977년 Orangun 등이 제안한 식을 Shah 등이 수정한 식이다.

$$U = [3.5 + 3.4c/d_b + 57d_b/L_d] (f'_c)^{0.5} \quad \text{----- (3.2)}$$

여기서 c 는 콘크리트 덮개두께, d_b 는 철근 직경이며 L_b 는 부착길이이다.

이러한 형태에 착안하여 본 연구결과를 실험변수에 대해 회귀분석하여 얻은 부착강도 예측공식은 다음 식 3.3과 같다.

$$U = (f'_c) e^{(-0.054L_b - 6.776C + 5.14)} \quad \text{--- (3.3)}$$

다음 그림 12, 13은 압축강도, 부착길이, 에폭시 도막두께등에 대해 본 예측공식을 적용하여 얻은 값과 실험결과치를 비교한 것이다.

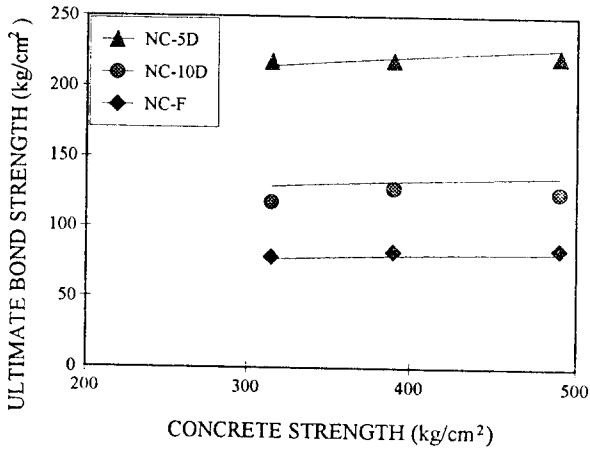


그림 12. 실험결과와 예측치의 비교 (미도막)

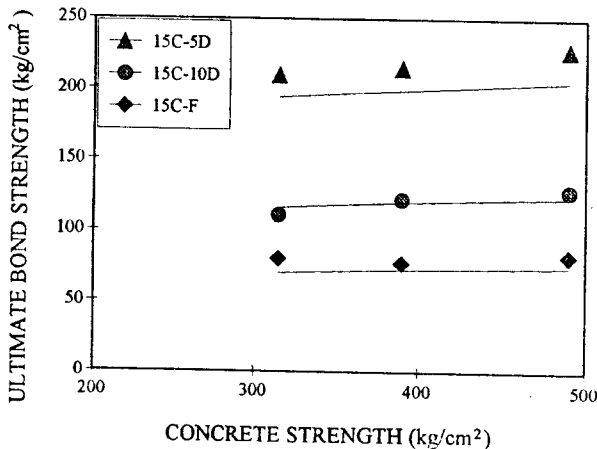


그림 13. 실험결과와 예측치의 비교 (0.15mm도막)

4. 결론

이상의 결과는 다음과 같이 정리될 수 있다.

(1) 본 실험치를 ACI 규정의 부착강도식과 비교한 결과 한 경우를 제외하고 거의 규정을 상회하였다. 예외적으로 규정보다 큰 부착길이와 에폭시 0.25mm도막의 경우에서 규정보다 약간 작은 부착강도를 얻었다.

(2) 콘크리트 압축강도 변화에 따른 부착 특성 변화는 0.15mm 도막의 경우 미도막 철근과 부착응력 발현에 있어 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 0.25mm 도막의 경우는 전 강도변수에 걸쳐 상대적으로 큰 부착응력의 저하가 관찰된 바 이의 사용은 불가한 것으로 판단된다. 0.15mm 도막의 경우 슬립의 발생량은 몇몇 예외는 있으나 전반적으로 미도막 철근보다 약간 큰 것으로 나타났으며 이는 전 강도변수에 걸쳐 관찰되었다. 0.25 mm 도막의 경우는 관측된 모든 결과 공히 그 슬립의 발생량은 미도막 철근보다 크게 나타났으며 극단적으로 큰 슬립이 발생하는 경우도 관찰되었으므로 사용성에 있어 문제가 있는 것으로 사료된다.

(3) 철근 부착길이 변화에 따른 영향은 0.15 mm 도막의 경우 미도막 철근과 비교할 때 부착응력의 저하는 거의 없는 것으로 나타났다. 슬립의 발생량은 거의 비슷한 수준에서부터 문힘길이에 따라 2,3배 까지 증가함이 관찰되었다.

(4) 에폭시 도막두께에 따른 부착강도의 변화는 0.15mm 도막의 경우 약간 저하되나 ACI 규정과 비교할 때 사용성에 있어서 큰 무리가 없을 것으로 판단되었다. 반면 0.25mm의 두께로 도막한 경우 상당히 크게 저하되며 슬립 역시 대단히 크게 발생하므로 실제적인 사용은 추천할 수 없는 것으로 판단되었다.

(5) 본 실험 결과에 기초하여 부착강도 예측공식을 제안하였다. 실험결과와 예측치를 비교한 결과 비교적 양호하게 부합하였다.

4. 참고 문헌

1. Rehm, G., "The Basic Principles of the Bond Between Steel and Concrete" Translation No.134, Cement and Concrete Association, London, 1968 66 pp.
2. Concrete Construction, Special Issue on Effect of Chloride on Corrosion, V.27, No.10, Oct.1982, pp. 773-811
3. ASTM "Test Method for Chlorine in Organic Compounds by Sodium Peroxide Bomb Ignition," (ASTM E 256-65 R-1982), 1982 Annual Book of ASTM Standards, Part 30, Philadelphia, 6 pp.