

鐵筋과 콘크리트의 附着力에 대한 에폭시 皮膜의 영향

- Effects of Epoxy Coating on the Bond Strength of Reinforcing Bars -

0 崔完喆*

Choi, Oan Chul

Hadje-Ghaffari, Hossain**

Darwin, David***

McCabe, L. Steve***

ABSTRACT

The results of a large-scale study to determine the effects of epoxy coating on the bond strength between deformed reinforcement and concrete are described. Tests include beam-end specimens containing No. 5(16mm), No. 6(19mm), No. 8(25mm), No. 11(32mm) bars with average coating thicknesses ranging from 3 to 17 mils(0.08-0.43mm). Three deformation patterns are evaluated. Specimens with covers of 1, 2, and 3 bar diameters are studied. Both top-cast and bottom-cast bars are tested.

Epoxy coatings are found to significantly reduce bond strength. The severity of that reduction is a function of deformation pattern, bar size, and coating thickness. Design recommendations based on these observations differ from the modifications to the 1989 ACI Building Code.

1. 緒論

철근의 부식문제는 여러가지의 콘크리트 구조물, 특히 교량, 해안 및 해양구조물, 폐수처리장 등 특수구조물에서 중요한 설계고려사항으로 되어 있다. 염화물(chloride)이 콘크리트의 균열사이로 침투되어 철근의 부식이 유발되고, 부식된 철근의 부피팽창으로 콘크리트가 부서져나가게 된다.

이러한 부식 방지책의 하나로, 에폭시(epoxy) 皮膜(coating)된 철근의 사용은 염화물로 부터 철근을 차단 보호시킴으로써 효과적이고 또한 경제성이 있음으로 미국내에서는 1973년 이후 매년 증가 추세에 있다.

에폭시 피막이 철근의 부식방지에 효과적이거나, 한편 철근과 콘크리트 사이의 附着力 감소라는 구조적인 결함을 초래하기도 한다. 이러한 부착력 감소는 두편의 주요 논문에서 발표되었다. 그 중 하나로 Johnston과 Zia는 보 端部 부착시험체 (beam-end specimen)를 실험하여 에폭시 피막된 철근의 부착력이 평균 15% 감소 한다고 밝혔다. 그 후 주요연구의 하나로 Treece와 Jirsa는 겹침길이 부착시험체(splice test)를 이용하여 에폭시 피막이 평균 34% 부착력을 감소한다고 보고 했다.

대체로 Treece와 Jirsa 제안에 따라 ACI Code 1989 規準은 처음으로 에폭시 피막된 철근의 증가를 명시하고 있다. 콘크리트 피복두께가 철근 직경의 3 배 미만 또는 철근간격이 철근직경의 6 배 미만인 경우 1.5(50% 增加)의 계수, 그외 다른 경우 1.2의 증가계수를 채택하고 있다.

증가계수 1.5의 근거가 된 실험은 시험체의 숫자(12개의 피막된 철근의 보와 9개의 피막되지 않은 철근의 보), 연구에 포함된 變數(한 종류의 철근마디모양 실험), 등 실험규모로 볼때 미흡한 결과로 좀 더 광범위 한 실험 자료를 필요로 하게 되었다.

본 연구에서는 美國 Kansas 대학에서 최근에 대규모로 시행된 에폭시 피막된 철근의 부착에 관한 연구 중 실험부분을 중심으로 논의하고자 한다. 에폭시 피막된 철근의 부착에 대한 피막의 두께(coating thickness), 철근의 마디모양(deformation pattern), 철근의 직경크기(bar size), 콘크리트의 피복두께(concrete cover), 철근의 위치(bar position)들의 영향이다. 그 외 高强度 콘크리트(high strength concrete) 및 횡방향 철근 또는 스테어링(transverse reinforcement)의 영향도 언급된다.

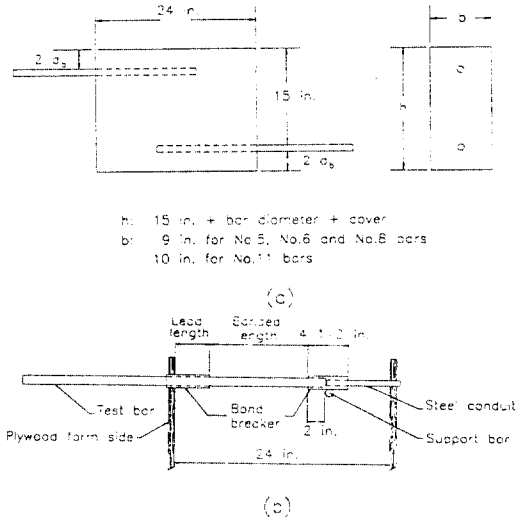


Fig.1 (a) Beam-end Specimen Dimension
(b) Test Bar Installation

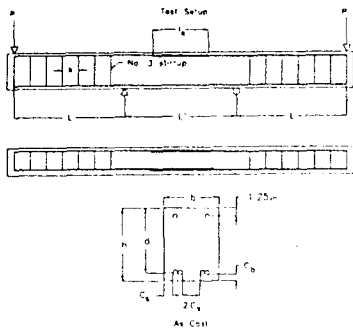
2. 實驗 概要

본 연구에서는 630개의 보 단부 부착시험체 (beam-end specimen)(Fig.1)와 15개의 겹침길이 부착시험체(splice test)(Fig.2)가 실험되었다.

* 정회원 工學博士

** 美 Kansas 大 大學院生

*** 美 Kansas 大 教授



Bar No.	L (in.)	L' (in.)	L _s (in.)	No. of splices	s (in.)	e (in.)	d (in.)	n	C _s (in.)	C _b (in.)
3	4	4	12	3	6	10.75	14.69	16	2	1
3	4	4	12	2	6	10.5	14.69	16	2	1
6	4	4	12	3	7	11	14.93	16	2	1
6	4	4	12	2	7	12	14	16	2	1
8	4.5	4.5	24	2	6	13.65	13.73	16	2	2

Fig. 2 Splice Specimens (1 inch=25.4mm)

본 단부 시험체는 Jonston과 Zia의 시험체와, 겹침길이 시험체는 Treece와 Jirsa의 시험체와 비슷하다.

철근은 ASTM A615 Grade 60인 No.5(16mm), No.6(19mm), No.8(25mm) 및 No.11(32mm)가 시험되었고 3종류의 철근마디모양(S, C, N 기호)(Fig. 3)가 시험되었다.

실제 사용되고 있는 상용의 에폭시 피막된 철근을 실험하였으며, 피막의 두께는 3-17mils(0.08-0.43mm) 범위이었다. 현행 ASTM A 775의 제한범위 밖의 피막두께도 보다 광범위 한 연구를 위해 시험되었다.

사용된 콘크리트의 強度는 5000psi와 6000 psi이며 골재의 공칭 최대치수는 3/4 inch(19 mm)로 비 공기연행 콘크리트(non air-entrained concrete)가 쓰여졌다.

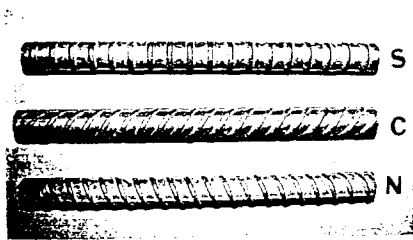


Fig. 3 Reinforcing Bar Deformation Pattern

3. 實驗結果 및 考察

3.1 피막두께(coating thickness)

에폭시 피막의 두께는 부식의 방지를 위하여 最小한의 두께를 가져야 하고, 반면에 에폭시 피막의 낮은 강성 및 부착력감소로 인하여 最大 두께가 제한되어 ASTM A 775에서 5-12mils(0.13-0.30mm)로 규정하고 있다.

본 연구에서는 부착력 감소에 대한 피막두께의 영향을 알아보기 위하여 N, S, C 마디모양을 가진 No.5, No.6 및 No.8 철근이 시험되었다.

실험된 결과로부터 Fig.4, Fig.5 및 Fig.6에서와 같이 피막된 철근의 피막되지 않은 철근에 대한 相對 附着力 減少率, C/U,을 피막두께에 대해 비교하였다.

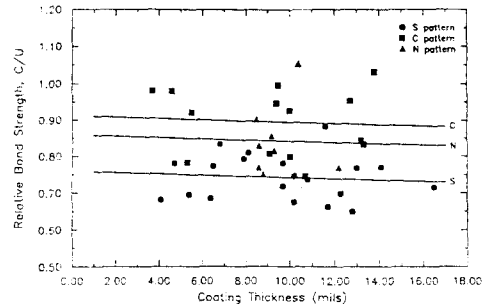


Fig. 4 Relative Bond Strength, C/U vs. Coating Thickness for No.8(25mm) Bars(1mil=0.025mm)

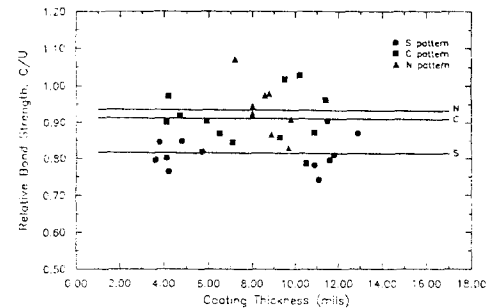


Fig. 5 Relative Bond Strength, C/U vs. Coating Thickness for No.6(19mm) Bars

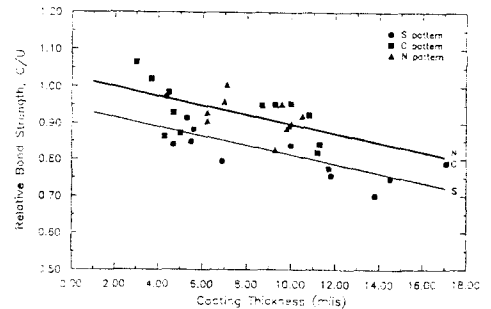


Fig. 6 Relative Bond Strength, C/U vs. Coating Thickness for No.5(16mm) Bars

Fig.4와 Fig.5에서 보듯이 No.6(19mm)와 No.8(25mm)철근의 부착력은 에폭시 피막으로 인해 현저히 감소하나, 피막의 두께에는 별로 영향을 받지 않는다. 이에 반해, Fig.6에서 No.5(16mm)철근의 부착력은 피막두께에 크게 영향을 받아 피막두께가 증가함에 따라 크게 감소한다.

3.2 철근의 마디모양(deformation pattern)

Fig.4, Fig.5 및 Fig.6은 또한 부착력의 감소가 철근의 마디모양(S, C, N pattern)에 따라 달라짐을 보여주고 있다. 이들 세가지의 다른 철근직경의 그림들에서 모두 S 마디모양이 가장 피막의 영향을 많이 받으며, 또한 영향 받는 순서도 철근의 크기에 따라 달라진다.

9mils(0.22mm) 피복두께를 갖는 철근의 평균 상대부착력 감소율은 S, C, N 마디모양에 따라 No.5(16mm)는 0.85, 0.93, 0.87이고, No.6(19mm)은 0.80, 0.89, 0.97이고, No.8(25mm)은 0.73, 0.83, 0.90이며, No.11(32mm)은 0.90, 0.80, 0.78로 계산되었다.

이상의 결과는 부착력의 감소가 철근의 크기 및 마디모양에 函數임을 보여 준다. 이에 따라 이들 둘을 포함하는 하나의 변수, Rb(bearing area ratio), 즉 단면적(rib bearing area)을 택하여 상대 부착력 감소율, C/U,에 대해 Fig.7과 같이 그려 고찰 하였다. 그림에서 관찰되듯이 Rb 증가에 따라 C/U가 증가한다. 다시 말하면 돌기의 두영면적이 철근 단면적에 상대적으로 커짐에 따라 예폭시 피막에 의한 부착력의 감소가 적어진다.

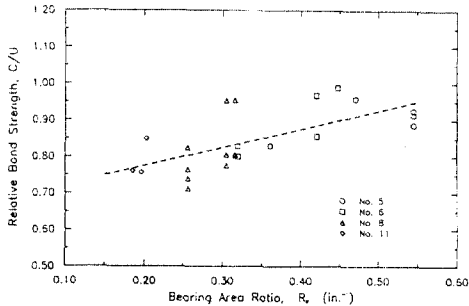


Fig.7 Relative Bond Strength, C/U vs. Bearing Area Ratio

3.3 철근의 直徑크기(bar size)

예폭시 피막에 의한 부착력의 감소는 일반적으로 작은 철근 보다 큰 철근의 경우가 상대적으로 크다고 관찰되었다.

평균 상대 부착력 감소율, C/U,는 No.5(16mm), No.6(19mm), No.8(22mm) 및 No.11(32mm)에 따라 각각 0.88, 0.89, 0.82 및 0.83의 값으로 나타났으며 가장 낮은 C/U는 0.85, 0.80, 0.73(이상은 S-pattern) 및 0.78(N-pattern)로 각각 나타났다.

3.4 콘크리트 피복두께(concrete cover)

1989 ACI Code는 콘크리트의 피복두께에 따라, 예폭시 피막된 철근의 설계시 相異なる 定着깊이의 증가계수를 쓸 것으로 규정하고 있다. 이에 대한 배경설명은 콘크리트의 피복두께가 철근직경의 3 배 미만 일때는 splitting failure가 발생되어 피막에 의한 부착력 감소가 크고 3 배 이상 일때는 pullout failure가 발생되어 피막에 의한 부착력 감소가 적을 것이라고 보고 있다. 그러나 이에 대한 구체적 실험결과의 부족으로 타당성이 의문시 되고있다.

본 연구에서는 4개의 group에 의하여 1, 2, 3 배 직경에 해당하는 피복두께를 가진 시험체들을 시험하였다. Fig.8은 그중 한 group으로 피막된 철근의 data와 피막되지 않은 철근의 data를 통계처리하여 선으로 나타내었다.

이를 두 선은 대체로 평행을 나타내며 상대 부착력 감소율, C/U,는 1, 2, 3배 직경의 피복두께에 대해 0.85, 0.89 및 0.90 값을 보여 주고

다른 나머지 3개의 group도 유사하게 동일한 경향을 보여 준다.

여기에서 피막된 또는 피막되지 않은 철근 모두 콘크리트 피복두께 증가에 따라 부착력은 증가하나, 상대 부착력 감소율은 콘크리트 피복두께에 대체로 무관하며 급격한 변화는 없었다. 이러한 관찰은 1989 ACI Code의 배경설명과 다른 것으로 나타나고 있다.

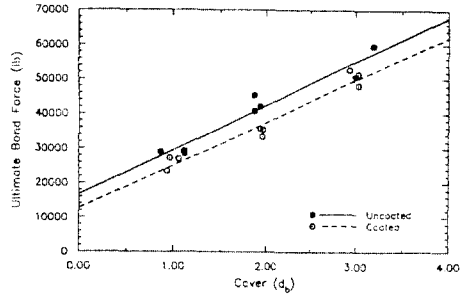


Fig.8 Ultimate Bond Force vs. Cover for Bottom-cast No.8 Bars

3.5 철근의 位置(bar position)

철근의 부착력은 철근주위의 콘크리트 품질에 관계되며, 이에 따라 콘크리트 타설시의 철근의 相對 位置에 관계된다. ACI 318-89는 이러한 현상을 고려하여 上段철근(top-cast)은 기본정착 길이에 1.3 계수를 곱하도록 하고 있다. 또한 ACI 규준은 예폭시 피막된 철근이 상단철근으로 사용될 때 1.7의 계수를 사용하도록 규정하고 있다.

예폭시 피막된 철근의 위치에 의한 감소영향을 조사하기 위하여 1.0 - 5.75inch 슬럼프 범위의 여러 group을 시험 하였다. 下端철근(bottom-cast)의 부착력에 대한 上端철근(top-cast)의 부착력의 비, 즉 상단철근영향(top-bar effect) 또는 상단철근계수(top-bar factor)를 Fig.9에서와 같이 슬럼프에 대해서 나타내었다.

예측되듯이, 피막되지 않은 철근의 경우 슬럼프 증가에 따라 부착력이 감소되며 상단철근계수(top-bar factor)는 6inch 슬럼프에서 대략 1.3을 보여준다.

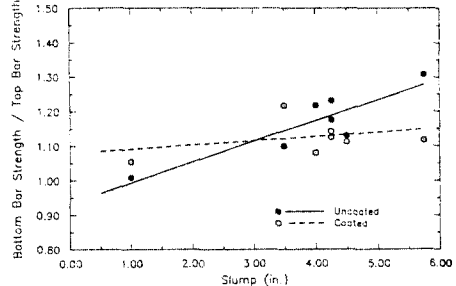


Fig.9 Ratio of Bottom Bar Strength to Top Bar Strength vs. Slump

이에 반해서 예폭시 피막된 철근의 경우 부착력의 감소는 슬럼프에 크게 민감하지 않다. 또한 6inch 슬럼프에서 상단철근영향은 1.3 보다 적은 약 1.15를 나타낸다. 이러한 피막된 철근의 상단철근영향의 감소현상은 예폭시 피막에 의한 附着力 損傷이 bleeding 또는 settlement

에 의한 손상과 유사한 것으로 설명될 수 있겠다.

에폭시 皮膜된 上端철근의 복합계수, 즉 피막되지 않은 하단철근에 대한 피막된 상단철근의 부착력 비율은 1.10 - 1.37로 현행 ACI 318-89의 1.7 상한치에 비해 상당히 적은 값을 보여 준다.

3.6 横 補强筋(transverse reinforcement)

제한된 숫자의 시험체이지만 횡보강근의 영향에 대해서 알아보기 위하여 No.3(10mm)의 스테럽(stirrup)을 사용하였다. 상대부착력 감소율, C/U,은 스테럽이 사용되지 않은 시험체의 0.85보다 다소 높은 0.88의 값이 스테럽이 사용된 시험체에서 얻어졌다. 결과적으로 횡보강근의 사용은 피막되지 않은 철근보다 피막된 철근의 경우, 부착력 증가에 더욱 도움이 된다.

3.7 콘크리트 强度(high-strength concrete)

역시 제한된 숫자의 시험결과이나 콘크리트 강도의 영향에 대해 알아보기 위하여 高强度 콘크리트 13,000psi의 시험체의 실험결과를 강도 6,000psi의 시험체의 결과와 비교하였다.

상대부착력 감소율, C/U,은 고강도 콘크리트의 경우 上端 및 下端철근에 대해서 각각 0.84, 0.94로 보통콘크리트의 각각 0.82와 1.00에 비교 된다.

4. 設計 提案(implications for design)

본 연구의 결과는 현 1989년 318-89 ACI 기준의 에폭시 피막된 철근의 해당사항과 상당한 차이를 보여 주고 현행 기준이 대체로 過大設計(overconservative)임을 보여 준다.

에폭시 피막된 철근의 현행 기준의 하나인 1.5의 정착길이 증가계수는 보다 낮은 1.25 내지 1.35의 증가계수로 철근 크기에 따라 적용할 수 있겠다. 부착력 감소현상이 철근의 마디모양(deformation pattern)에 상관됨으로 最適의 마디모양 철근을 사용하거나 설계 제작함으로써 정착길이를 더욱 감소시킬수 있는 가능성을 예시하고 있다.

No.5(16mm) 철근보다 큰 철근들에서 나타난 에폭시 피막두께에 대한 非敏感性(피막두께 증가에 따라 부착력의 감소가 변하지 않음)으로 부터 현재 ASTM A 775의 한계 피막두께인 12mils (0.30mm) 이상의 사용이 가능하고 이로 인하여 에폭시 피막시공의 유연성을 높이고 또한 부식방지의 증대효과를 기대할 수 있겠다.

실험결과로 부터 콘크리트 피복두께의 차이(철근직경의 1, 2, 3배의 피복두께)로 인한 상대 부착력의 급격한 변화(현행 ACI 1989 기준에서의 배경설명)는 없었다. 이 관찰로 인해 에폭시 피막된 철근 또한 보통철근과 마찬가지로 철근 직경의 2배가 기본 피복두께가 될수 있겠다.

피막된 철근이 상단철근으로 사용되는 경우 또한 현행 ACI 기준의 1.7 보다 적은 계수의 사용이 제시 되고 있다.

5. 結 論

1. 에폭시 피막은 철근의 콘크리트에 대한 附着力을 감소시킨다. 그 감소의 양은 1989 ACI 기준 적용치 보다 적은 것으로 관찰되었다.

2. No.6(19mm) 이상 철근에서 에폭시 피막두께 증가는 대체로 부착력감소에 영향을 주지 않는다. 그러나 No.5(16mm) 철근에서는 피막이 두꺼울수록 부착력이 크게 감소한다.

3. 일반적으로 철근의 直徑이 클수록 부착력의 감소가 커진다.

4. 부착력의 감소는 철근의 마디모양에 관계된다.

5. 부착력의 감소는 콘크리트 被服두께에 대체로 무관하다.

6. 에폭시 피막된 철근은 피막되지 않은 보통 철근에 비해 상대적으로 적게 上端철근의 영향을 받는다.

7. 횡 보강근은 상대적으로 피막된 철근의 부착력 증가에 도움이 된다.

8. 부착력의 감소는 콘크리트 强度에 대체로 무관하다.

REFERENCES

1. 崔完喆, "에폭시 皮膜된 철근의 附着에 관한 最近研究," 대한건축학회 학술발표논문집, 1990년 10월.

2. ACI Committee 318. (1989). Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89) and Commentary - ACI 318R-89, American Concrete Institute, Detroit, MI, 353 pp.

3. ASTM. (1987). "Standard Specifications for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement," (ASTM A 615-87a) 1989 Annual Book for ASTM Standards, Vol.1.04, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 381-384.

4. ASTM. (1988). "Standard Specifications for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars," (ASTM A775/a 775M-88a) 1989 Annual Book for ASTM Standards, Vol.1.04, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 548-552.

5. Choi, Oan Chul, Hodge-Ghaffari, Hossain, Darwin, David, and McCabe, Steven L. (1990). "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement to Concrete: Bar Parameters," SL Report 90-1, University of Kansas Center for Research, Lawrence, Kansas, January, 43 pp.

6. Choi, Oan Chul. (1990). "Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcement to Concrete," Ph. D. Dissertation, University of Kansas, Lawrence, Kansas, July, 217 pp.

7. Darwin, D., McCabe, S.L., Choi, O.C. (1990). "Evaluation of Bond Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Steel Using Nonlinear Finite Element Analysis," Proceedings, ASCE Material Congress, Denver, CO, August, pp. 135-144.

8. Darwin, D., McCabe, S.L., Hodge-Ghaffari, H., Choi, O.C. (1990). "Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcement to Concrete - An Update," Proceedings, ASCE Material Congress, Denver, CO, August, pp. 115-124.

9. Choi, O.C., Hodge-Ghaffari, H., Darwin, D., McCabe, S.L. "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement to Concrete: Bar Parameters," ACI Materials Journal, in press.