

염화물 환경에 있는 에폭시도막철근의 부식 평가 연구

Corrosion Evaluation of Epoxy-coated Bars in Chloride Contaminated Concrete Using Linear Polarization Tests

박영수* 최경민* 정시영** 김병국*** 최완철****

Park, Young-Su Choi, Kyong-Min Jung, Si-young Kim, Byoung-Kook Choi, Oan-Chul

ABSTRACT

Five bench scale specimens were used to evaluate corrosion performance of damaged epoxy-coated bars in chloride contaminated concrete. The test specimens were subjected 48 weekly cycles of ponding with sodium chloride solution and drying. Test results using linear polarization technique show that the current density of specimen with conventional steel becomes $0.715 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ indicating that the steel bars are in moderate or high corrosion condition. However, the corrosion rates of the specimens with damaged epoxy coated bars are much below $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ and the bars appears to be in passive condition. The corrosion protection performance provided by calcium nitrite is better than that of specimens with the other two inhibitors.

1. 서론

일반적인 RC, SRC 구조물의 철은 pH 12~13.5 정도의 강알칼리성을 가지고 있으며, 콘크리트 내부의 철은 강알칼리성 환경에서 철 표면에 부동태 피막이라고 불리는 산화피막이 형성되어 강알칼리성 콘크리트 구조물에서는 부식이 일어나지 않으나, 부동태 피막이 파괴되면 철은 부식한다. 부동태 피막 파괴의 원인은 대기중의 이산화탄소 또는 H_2O , 염분 등의 침입으로 주로 발생한다. 물과 대기중의 산소가 수화반응하여 철의 부식을 촉진시키며 H_2O , 염분의 침입이 직접적으로 철 부식의 원인이다.

에폭시도막철근은 항만구조물 및 해사를 사용한 구조물에 사용되는 주된 부식방지 시스템중의 하나이다. 철의 부식방지 시스템 중 도막방법은 철 주위를 에폭시 또는 부식방지 도장재를 철 주위에 코팅하는 것을 말한다. 이 도막방법은 철에 염화이온을 방어하고, 전기화학적으로 철을 고립하여 부식을 방지한다. 그러나 코팅이 손상 또는 벗겨질 경우 손상이 있는 주위에서 부식이 가속화 한다는 문제점

* 정회원, 숭실대학교 건축공학부 석사과정

** 정회원, 숭실대학교 건축공학부 박사과정

*** 정회원, 숭실대학교 건축공학부 강사, 공학박사

**** 정회원, 숭실대학교 건축공학부 교수, 공학박사

이 있다. 또한 이러한 철근부식 측정방법에는 콘크리트 철근 피복두께를 파치 후 육안검사 및 전기화학적 방법이 있으며, 전기화학적 방법으로는 자연전위법, 비저항법, 분극저항법, 교류임피던스법, 전기화학적 노이즈법, 마크로셀 전류 측정법 등이 있다. 여기서 전기화학적 방법 중 분극저항법을 이용하여 에폭시 코팅이 된 철근의 부식상태를 측정하고, 방청제 효과를 조사하고자하였다.

2. 부식실험

2.1 실험체 제작

본 시험에 사용한 시험체는 부식측진을 위해 널리 사용되는 남부측진시험체(southern exposure corrosion specimen)제작하여 시험을 실시하였다. 시험체는 길이 305mm, 너비 305mm, 높이 178mm의 콘크리트 블록에 상부에 D10 에폭시코팅철근을 배치하였으며, 하부에는 D10 보강철근을 배치하였다. 또한 상부 25mm정도에 홈을 만들어 15% NaCl 용액을 4일간 침식시킨 후 3일간 건조하여 7일 단위로 반복하여 48주 동안 하였다. 시험체 5개를 제작하였으며, 1번 시험체에는 D10 이형철근을 원형 그대로 매입하였으며, 2번 시험체는 에폭시도막철근의 손상을 가정하여 4개의 홈을 설치하였으며, 3번, 4번, 5번 시험체는 4개의 홈에 A, B, C 사의 방청제를 도포하여 콘크리트 시험체를 만들었다(표 1).

2.2 실험방법

상부의 실험체에 재령 48주째의 부식상태를 평가하기 위하여 시험을 실시하였으며, 시험체 상부에 15% NaCl 용액에 calomel electrode를 기준전극으로 백금전극을 대전극으로 하여 설치 후 분극저항 측정기에 연결하고, 상부 철근 또한 단자를 설치하여 분극저항 측정기에 연결하여 부식반응을 측정하였다.

3. 시험결과

에폭시도막철근은 염해 및 부식을 받기 쉬운 구조물에 널리 사용된다. 그러나 에폭시철근 도막에 손상이 있을 경우 그 손상된 부분에서 부식 속도가 매우 빨리 증가 하며, 에폭시 및 방청제를 도포할 경우 부식속도는 낮다는 것을 분극저항법을 이용하여 측정하였다. 철이 염해를 받을 경우 에폭시 철근 및 방청제가 철근에 미치는 영향을 분극저항 측정 방법으로 평가하였다.

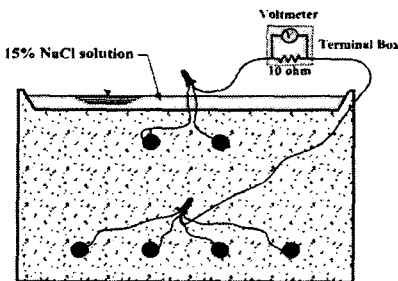


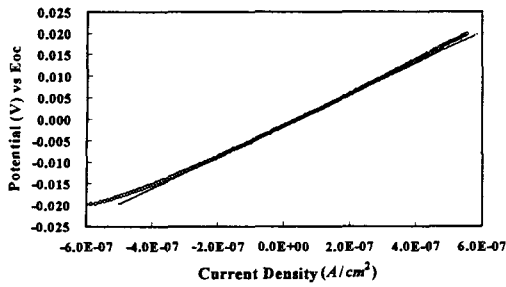
그림 1 A schematic diagram of a typical concrete test

표 1 Bench scale test specimens

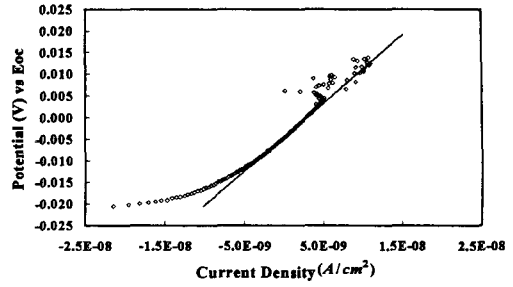
| Specimens Designation | Steel Designation* | w/c | Inhibitors |
|-----------------------|--------------------|------|----------------|
| 1.CB-4N-45N | Conv. | 0.45 | None |
| 2.CB-ERC4-45N | ECR | 0.45 | None |
| 3.CB-ERC-DCI | ECR-4h | 0.45 | DCI-S |
| 4.CB-ERC-HY | ECR-4h | 0.45 | Hycrete DSS |
| 5.CB-ERC-RH | ECR-4h | 0.45 | Rheocrete 222+ |

*Conv. = conventional steel. ECR = normal epoxy-coated steel

4h = epoxy coated bar penetrated with 4 holes of 0.3mm diameter



(a) CB-4N-45N



(b) CB-ERC2-45

그림 2 Plots of potential vs. current density from polarization test results

표 2 Test results from linear polarization

| Specimens | E_{oc} (mV) | R_p (ohm $cm^2 \times 10^6$) | I_{corr} ($\mu A/cm^2$) | Corrosion rate ($\mu m/year$) |
|-------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| CB-4N-45N | -485.0 | 0.036 | 0.7150 | 8.280 |
| CB-ERC4-45N | -600.0 | 1.570 | 0.0168 | 0.195 |
| CB-ERC-DCI | -490.0 | 2.720 | 0.0096 | 0.110 |
| CB-ERC-HY | -533.0 | 1.080 | 0.0244 | 0.283 |
| CB-ERC-RH | -345.0 | 1.700 | 0.0154 | 0.178 |

표 2는 분극저항법을 이용한 실험결과 값이며 기준전위(E_{oc}), 분극저항(R_p), 부식전류밀도(I_{corr}), 부식속도(corrosion rate)를 나타내었다. 철근의 부식 측정결과 기준철근(CB-4N-45N)의 I_{corr} 값이 $0.715 \mu A/cm^2$ 로 에폭시 코팅제를 도포한 철근 $0.0096 \sim 0.0244 \mu A/cm^2$ 보다 높게 나타났다. 이 결과로 에폭시 및 방청제를 도포한 철근보다 그렇지 않은 철근의 부식이 많이 진행된 것을 알 수 있다. 또한 기준철근이 있는 시험체의 corrosion rate가 $8.28 \mu m/year$ 로 부식에 의한 균열이 예상된다.

그러나 4개의 지름 0.3mm 구멍이 있는 에폭시도막철근의 시험체는 그림 3에서 보는 바와 같이 I_{corr} $0.1 \mu A/cm^2$ 이하로 부동태(passive) 상태에 있다. 이것은 염화물에 노출된 상태에서 에폭시도막철근이 기준철근보다 적은 피해가 있음을 보여주고 있다.

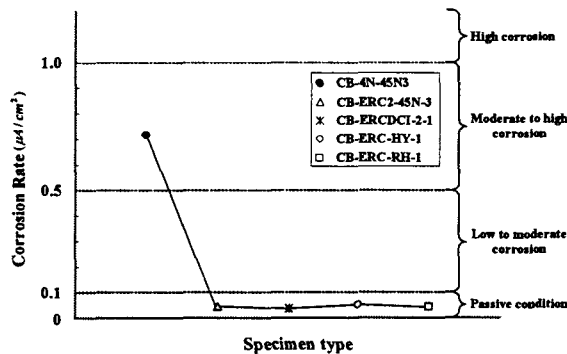


그림 3 Plot of corrosion rate vs. specimen type to determine corrosion conditions specimen

4. 결론

48주간 시험체 상부에 15% NaCl 용액을 침식시켜 부식을 촉진시켰으며 분극저항법을 이용하여 부식상태를 조사하였다. 실험결과 기존 에폭시를 도포하지 않은 철근에서 부식전류밀도는 $0.715 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 으로 측정되었으며, 에폭시 코팅제 및 방청제를 도포한 철근에서 $0.0096 \sim 0.0244 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 로 $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 보다 낮은 수치를 보여 에폭시 및 방청제를 도포한 철근은 부동태 상태인 것으로 조사되었다. 본 연구결과 전기화학적 방법인 분극저항 기술은 철근 콘크리트의 부식속도를 측정하는데 유용할 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. Hachani, L.; Carpio, J.; Fiaud, C.; Raharinaivo, A and Triki, E., "Steel Corrosion in Concrete deteriorated by Chlorides and Sulphate: Electrochemical Study Using Impedance Spectroscopy and Stepping down the Current Method," Cement and Concrete Research, Vol. 22, 1992, pp.56~66.
2. Uhlig, Herbert H. and Revie, Winston R., Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1985, 441 pp.
3. Baidis, J. M., and Rosenberg, A. M., "The Inhibitors of Chloride-Induced Corrosion in Reinforced Concrete by Calcium Nitrite," Cement, Concrete, Aggregates, Vol. 9 No. 1, 1987, pp. 30-33.
4. ASTM C 109-92, "Standard Test Method for Determining the Effects of Chemical Admixtures on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride Environments," 1999 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 1999, PA.
5. McDonald, D. B., Pfeifer, D. W., and Sherman, M. R., "Corrosion Evaluation of a Epoxy-coated, Metallic-Clad and Solid Metallic Reinforcing Bars in Concrete," Publication No. FHWA-RD-98-153, Federal Highway Administration, McLean, VA, 1998, 127 pp.
6. ASTM C 876-91, "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete," 2002 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 2002, PA.
7. Jones, D. A., Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Company, New York, NY, 1996, 572 pp.
8. Berke, N. S., Shen, D. F. and Sundberg, K. M., "Comparison of the Polarization Resistance Technique to the Macrocell Corrosion Technique," ASTM Special Technical Publication, Symposium on Corrosion Rates of Steel in Concrete, Baltimore, 1990, pp. 38-51.
9. Hope, B. B., Page, J. A. and Ip, A. K. C., "Corrosion Rate of Steel in Concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 16, No. 5, 1986, pp. 771-786.
10. Balma, J., Darwin, D., Browning J. and Locke, C. E., "Evaluation of Corrosion Protection Systems and Corrosion Testing Methods for Reinforcing Steel in Concrete," SM Report 05-1, The University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence KS, 2005, 517 pp.