

철근 부식에 미치는 염분 및 음극방식의 효과에 대한 전기화학적 접근(I)

장 현 영 · 홍 성 호 · 김 영 식* · 손 기 천* · 유 영 린* · 박 수 용**

한국전력기술주식회사 전력기술개발연구소,
안동대학교 방식공학연구소*, 우신전기방식주식회사**

Electrochemical approach for the influences of salt and cathodic protection on rebar corrosion(I)

Hyunyoung Chang, Sungho Hong, Youngsik Kim*,
Kichun Sohn*, Youngran Yu*, Sooyong Park**

Power Energy Research Institute, KOPEC

*The Corrosion and Protection Laboratory, Andong National University

**Woosin Anti Corrosion Co. Ltd.

This work focuses on an electrochemical approach for the influences of salt and cathodic protection on rebar corrosion. Concrete specimens with/without salt were made and exposed in air and in salt water by upper-dam or immersion. Polarization resistance on rebar in concrete specimens was measured and anodic polarization test in concrete pore solution was conducted.

Salt in concrete increased corrosion rate of rebar, and external salt water added to concrete largely facilitated corrosion of rebar. Rebar corrosion was also increased by even low permeation rate of salt water through the concrete. However, rebar corrosion by high salt content in concrete and from external salt water could be protected using an electrochemical cathodic protection. In the case of alkaline pH environment in concrete pore solution, rebar showed good passivity regardless of chloride ion addition. When the pH of concrete pore solution was lowered to neutral level, however, small amount of chloride ion did corrode rebar and then pitting corrosion was occurred.

Keywords : concrete, rebar corrosion, salt, cathodic protection, concrete pore solution

1. 서 론

원자력발전소 등의 경우, 지진 등의 자연 재해로 인한 구조물의 손상을 방지하기 위하여 매우 보수적으로 구조물들을 건설하고 있다. 즉, 매우 두꺼운 콘크리트 벽과 고강도 설계이다. 이러한 콘크리트

구조물은 발전소의 수명이 40년에서 60년으로 장수명화가 추진되면서 이에 대한 안전성이 매우 중요하게 인식되고 있다. 특히 철근 콘크리트 구조물과 관련된 주변 철 구조물의 부식 손상 문제가 매우 빈번히 발생되고 있고 이로 인한 피해가 급속히 증가하고 있는 추세이다.

일반적으로 시멘트의 강알칼리성에 의해서 콘크리트 중의 철근은 pH가 12.5정도의 알칼리 환경에 존재하게 된다. 이러한 알칼리 환경에서 철근은 그 표면에 20~60Å 정도의 얇은 산화피막[γ -Fe₂·nH₂O]이 형성되어 부동태화 되기 때문에 부식 작용으로부터 보호될 수 있다. 그러나 콘크리트 중에 염화물 이온이 침입하게 되면 철근 표면의 부동태 피막이 파괴되어 철근은 활성태로 변화하게 된다. 활성태인 철근의 표면에서는 철근이 이온화되는 양극 반응(산화반응, $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$)과 산소가 환원되는 음극 반응(환원반응, $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$)이 일어나게 된다. 이러한 양극반응과 음극반응은 동시에 발생하기 때문에 수산화제2철[Fe(OH)₂]로 된다. 특히, 수산화제2철은 물분자를 잃고 적색의 녹인 FeOOH로 되며, 일부는 흑색의 녹인 Fe₃O₄가 되어 철근 표면에 녹층을 형성하게 된다. 이 녹층은 다공질로서 부식을 억제하는 효과가 작아서 부식이 계속 진행된다. 또한 철근의 녹은 본래의 철의 2.5배 정도로 체적변화가 커서 그 팽창압력에 의해서 콘크리트가 떨어져 나갈 수도 있으므로 부식을 더 촉진시키는 원인이 되기도 한다. 더구나 염화물 이온이 콘크리트 중에 있거나 외부로부터 콘크리트 중에 침투하게 되면 철근의 부동태 피막을 쉽게 파괴시켜 활성상태로 만들어 부동태 영역을 축소시킴과 동시에 콘크리트의 전기저항을 저하시켜 부식반응을 촉진시키기 때문에 염화물 이온의 존재는 콘크리트의 건전성에 지대한 영향을 미친다.¹⁾

이미 국내의 많은 건설구조물에 염분이 완전히 제거되지 않은 해사를 사용한 경우나 해안가 또는 해수 취급 구조물 등에서는 염화물 이온의 영향을 크게 받고 있다.^{2,3)} 따라서 철근 콘크리트용 바닷물래의 세척효과,⁴⁾ 해수 중에 침지된 콘크리트의 철근의 분극 특성,⁵⁾ 콘크리트 철근의 분극저항 측정^{6,7)} 등의 연구를 통해서 염분의 해로운 효과에 대해서 많은 보고가 있어 왔다. 그런데 실제 콘크리트

구조물은 거의 완벽하게 수분이 침투되지 못하는 경우도 있고, 부식 등에 의하여 균열이 발생하여 수분이 침투되는 경우도 있으나 이에 대한 접근이 미비한 상태이다. 한편 콘크리트 모사 용액(Simulated Concrete Pore Solution)을 이용하면 실제 철근 콘크리트 중의 철근 부식에 미치는 염분의 영향을 전기화학적으로 쉽게 평가할 수 있다.⁸⁾ 즉, 포화수산화칼슘 용액을 제조하여 이를 콘크리트 모사 용액으로 사용하며, 경우에 따라서 KOH 또는 NaOH를 첨가하여 사용하기도 한다.

따라서 본 연구에서는 염분을 첨가하지 않은 콘크리트와 염분을 첨가한 콘크리트 시험체를 제작하고 부식환경을 대기, 하부염수침지, 상부염수침지의 3가지 조건으로 시험하였으며, 전기방식을 행하는 시편의 경우는 메쉬형 양극을 사용한 음극방식과 리본형 양극을 사용한 음극방식으로 나누어 시험하였다. 또한 콘크리트 모사 용액을 제조하여 콘크리트의 중성화 효과 및 첨가된 염화물 이온의 농도 효과를 전기화학적으로 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 철근 콘크리트 시험체의 제작 및 염수침지시험

철근 콘크리트 시험체의 제작에 사용된 원재료를 요약한 것이 표 1이다. 철근 콘크리트 시험체의 제작 시 콘크리트 배합비와 재령 7일 및 재령 28일의 압축강도를 표 2에 요약하여 놓았다.

Table 1. 철근 콘크리트 시험체 제작에 사용된 원재료

재 료	비 중	비 고
시멘트	3.12	한일시멘트
잔골재	2.60	낙동강 산
굵은 골재	2.67	최대 치수가 25mm인 경복 의성 산
혼화제	1.20	나프탈렌계의 고성능 AE감수제
이형 철근	직경 10mm	시중 판매용

Table 2. 콘크리트 배합표 및 강도시험 결과

굵은골재 최대치수, mm	슬럼프의 범위, cm	공기량, %	물- 시멘트비	잔골재율, %	단위량, kg/m ³					NaCl, kg/m ³	압축강도, kgf/cm ²	
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제, g		재령 7일	재령 28일
25	12±2	3	50	42	177	350	731	1,067	1,760	0 7.5	227	278

한편 콘크리트 시험체를 두 종류로 제작하였는데, 즉 NaCl을 배합치 않은 경우(시험체명 A, B, C)와 NaCl을 7.5kg/m^3 배합한 경우(시험체명 E, F, G)이다(즉, 염분의 농도는 잔골재 대비 1% NaCl임). 또한 전기방식을 행하지 않는 시편과 음극방식을 행하는 시편으로 나누며, 후자의 경우도 메쉬형과 리본형의 양극을 사용하는 두 종류로 나누었다. 이러한 콘크리트 시험체는 대기 중(시험체명 A & E), 3.5% NaCl 수용액 중에 하부 침지(시험체명 B & F), 3.5% NaCl 수용액을 콘크리트 시험체의 상부에 침지(시험체명 C & G) 하였다. 콘크리트 시험체의 크기는 가로×세로×높이가 시험체 ABEF의 경우는 $20 \times 40 \times 8$ cm이다. 시험체 CG의 경우는 $12 \times 40 \times 16$ cm이며 상부에 $7.6 \times 30 \times 8.6$ cm의 투명 아크릴 덮을 설치하여 3.5% NaCl 수용액을 가하여 주었다.⁸⁾

2.2 분극 저항의 측정

선형분극법(Linear Polarization)을 사용하여 분극저항, R_p 를 측정하였다. 선형 분극은 부식 전위보다 -20mV 비한 전위로부터 $+20\text{mV}$ 귀한 전위까지 콘크리트에 의한 IR강하를 자동 보정한 상태로 1mV/sec 의 속도로 분극시켜서 얻었다. 측정 시 참고전극으로는 Cu/CuSO_4 전극을 사용하였으며, 측정기기는 Potentiostat(Gamry사 제품, DC 105)를 사용하였다.

2.3 콘크리트 모사용액 중에서의 분극시험

콘크리트 모사용액은 수산화칼슘을 이용하여 pH가 12.2, 11.4, 10.4가 되도록 조절하였으며, 여기에 NaCl을 0.001, 0.01, 0.1, 1%를 각각 첨가하여 염수 침투 효과를 평가하였다. 분극시편은 콘크리트 시험체에 사용한 동일 철근이고, 참고전극은 포화감홍전극(SCE)이며, 상대전극은 고밀도 흑연봉을 사용하였으며, 주사 속도는 1mV/sec 로 실험을 행하였다. 측정기기는 Potentiostat(Gamry사 제품, DC 105)를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 선형분극법으로 구한 콘크리트 철근의 부식 거동

철근 콘크리트 구조물의 염분 피해란 콘크리트 중의 염화물이 철근을 부식시켜 철근 및 콘크리트가 열화하는 현상을 말한다. 일반적으로 염화물이 콘크리트 구조물에 혼입되는 과정은 (1) 세골재로서 충분히 세정되지 않은 해사를 사용한 경우, (2) 염화물을 다량 포함한 혼화제를 사용하는 경우, (3) 용설제를 콘크리트 표면에 도포한 경우, (4) 해안에서 해염 입자가 콘크리트 구조물에 날아와 침투하는 경우, (5) 해수의 직접 접촉에 의해 염수가 침투하는 경우 등이 있다. 여기서 (1)과 (2)는 내재염분(內在鹽分), (3) ~ (5)는 비래염분(飛來鹽分)이라고 하며, 염해 피해란 콘크리트 내에 혼입되는 염화물이 철근의 부식을 발생시켜 철근 콘크리트 구조물에 균열 및 내력 저하를 초래하여 최종적으로 구조물의 안전성, 사용성, 내구성을 저하시키는 현상을 말한다.^{3,9)} 이와 같이 염분은 콘크리트 내부 및 외부로부터 혼입되어 철근의 부식을 심화시키므로 내재염분의 효과와 함께 상부로부터 혹은 하부로부터 침투되는 염수의 효과에 대하여 분석할 필요성이 크다. 내재염분의 경우는 건축물의 신축 시에 문제가 되는 것으로, 레미콘 염화물 총량규제에 의해 염소이온을 0.3 kg/m^3 이내(콘크리트 총량 대비)로 규제하고 있다. 그런데 해안가에 위치한 건축물은 해염 입자가 날아와서 콘크리트 표면에 부착함과 동시에 콘크리트 속으로 확산, 침투하여 축적되며, 철근 부근에 5 kg/m^3 이상의 염화물 이온이 검출된 경우도 보고되고 있다.¹⁰⁾ 따라서 본 연구에서는 단시간 내에 염화물 이온의 효과를 나타내기 위하여 7.5 kg/m^3 의 NaCl(잔골재 대비 1% NaCl 이하 해사 시험체 또는 1% NaCl sand로 표기)을 첨가하여 시험체를 제작하여 평가하였다.

상부 덮으로부터의 염수 침투 및 내재염분의 효과: 분극 저항(Polarization Resistance, R_p)은 선형 분극을 통해서 얻었으며, 선형 분극은 부식 전위보다 -20mV 비한 전위로부터 $+20\text{mV}$ 귀한 전위까지 콘크리트에 의한 IR강하를 자동 보정한 상태로 1mV/sec 의 속도로 분극시켜서 얻었다. 여기서 얻은 분극 저항은 부식 속도와 반비례하고 있으며

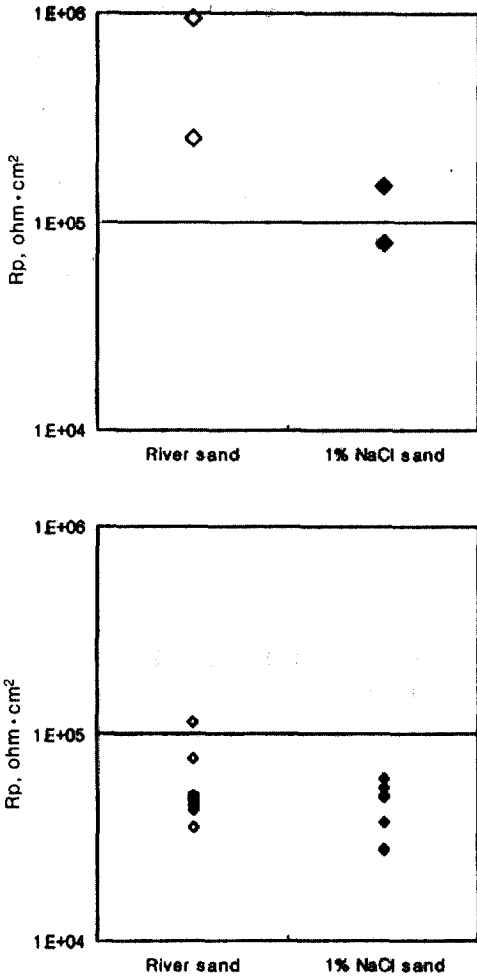


Fig. 1. Effect of salt in sand on polarization resistance of river sand and 1% NaCl sand (\diamond : specimen C, \blacklozenge : specimen G) (a) in air (b) after an exposure in salt water-dam.

로 분극 저항이 크다는 것은 부식 속도가 느리다고 판단한다.

그림 1은 하천사 시험체 C(River sand) 및 해사 시험체 G(1% NaCl sand) 중의 철근의 분극 저항을 구하여 나타낸 것이다. (a)는 두 종류의 시험체를 대기 중에 둔 채로 111일경에 측정된 분극 저항이며, (b)는 두 종류의 시험체의 상부에 댐을 만들어 3.5% NaCl 수용액을 가한 상태에서 측정된 분극 저항이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 대기 중에서 측정된 분극저항은 하천사 시험체의 경우가

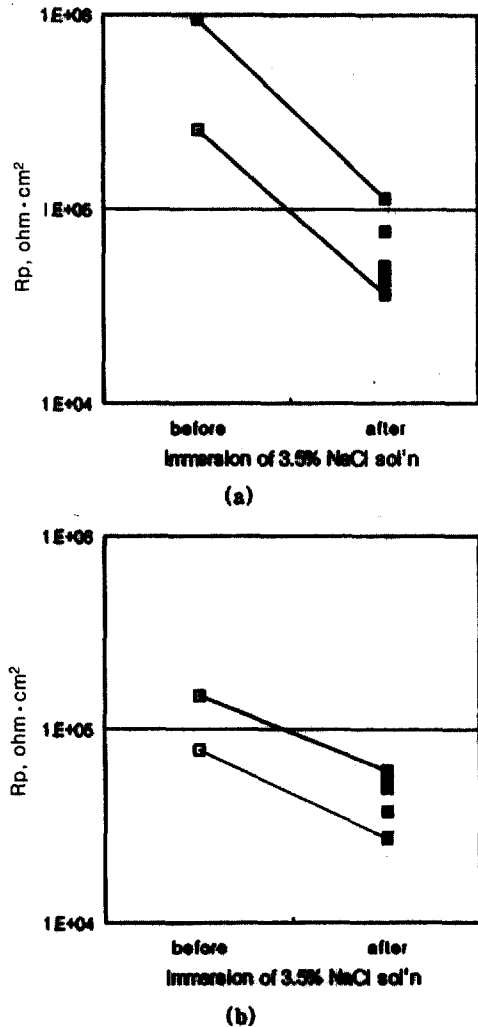


Fig. 2. Effect of salt water-dam on polarization resistance of before and after immersion (\square : before, \blacksquare : after) (a) Specimen C(River sand), (b) Specimen G(1% NaCl sand)

해사 시험체의 경우보다 더 크게 나타나고 있다(그림 1a). 상부댐 염수 침지된 시험체의 경우(그림 1b)에는 전체적인 분극저항값이 작아지고 있으며, 하천사와 해사 시험체 간의 차이가 감소했음을 알 수 있다. 이러한 결과는 콘크리트 중의 염분에 의해서 철근의 부식이 촉진되고 있음을 보여주는 것이다.

그림 2는 하천사 시험체 C(River sand) 및 해사 시험체 G(1% NaCl sand) 중의 철근의 분극 저항에 미치는 상부댐 염수 침지의 효과를 보여주고 있

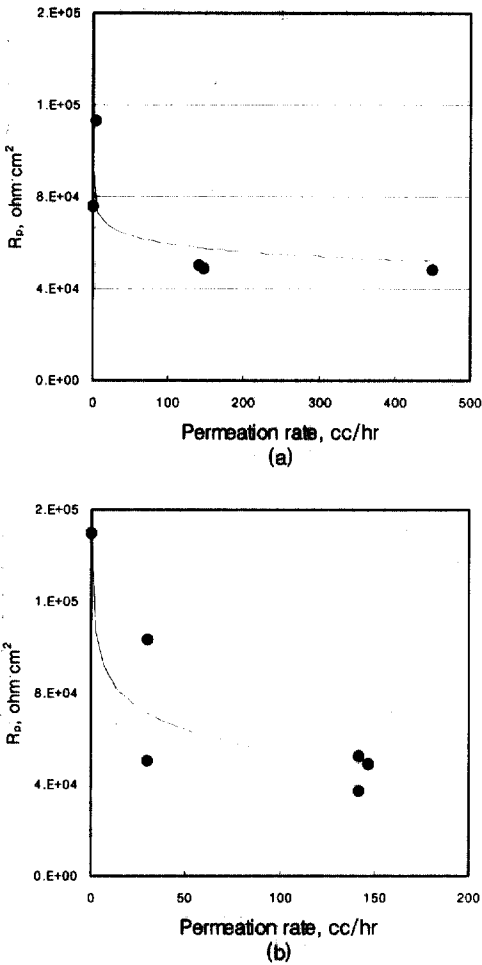


Fig. 3. Effect of permeation rate of salt water on polarization resistance of rebar in concrete ; (a) River sand (b) 1% NaCl sand

다. 그림 2a는 하천사 시험체에 대한 것으로서 상부댐 염수 침지에 의해서 분극저항이 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. 그러나 해사 시험체의 경우(그림 2b)는 상부댐 염수 침지에 의해서 분극저항이 감소하고 있으나 그 정도가 하천사의 경우보다는 작다. 이와 같이 동일한 상부댐 염수 침지에 의해서 하천사 시험체와 해사 시험체 간에 그 효과가 다르게 나타난 것은 해사 시험체의 경우는 이미 콘크리트 중의 다량의 염분에 의하여 부식 효과가 나타나고 있었기 때문에 상부댐 염수 침지 효과가 다소 작게 나타난 것으로 판단된다.

한편 하천사 시험체와 해사 시험체의 제작시 다

짐 정도를 달리하여 상부댐에 공급하는 염수(3.5% NaCl)가 콘크리트 시험체를 통해 빠져나가는 투수율을 0에서부터 450cc/hr까지 다양하게 만들었다. 실제로 이와 같이 큰 투수율을 보이는 경우는 콘크리트가 파손된 경우에 나타날 수 있는 상황을 모사한 것이다. 그림 3에서 보는 바와 같이, 상부댐의 염수가 콘크리트를 통하여 침투하게 되면 분극저항이 급격히 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 수십 cc/hr 이상의 투수율에서는 분극저항이 거의 일정하게 나타나고 있다. 이러한 결과는 콘크리트의 균열 등으로 염수가 직접 콘크리트 내부로 침투하게 되면 철근의 부식을 급격히 일으킨다는 사실을 알려주는 것이다.

그림 4는 하천사 시험체 C(River sand) 및 해사 시험체 G(1% NaCl sand) 중의 철근의 분극저항에 미치는 방식 효과를 보여주는 것이다. 시험은 시험체 C 및 G의 상부에 댐을 만들어 염수를 가한 상태로 전기방식을 행하지 않는 경우와 전기방식을 행하는 경우(메쉬형 양극과 리본형 양극)로 나누어 10일 동안 실험한 뒤의 철근에 대하여 분극저항을 측정하는 것이다. 철근에 대하여 방식을 하지 않는 경우보다 방식을 행한 경우의 분극저항이 크게 나타나고 있으며, 이는 방식에 의하여 철근이 부식되지 않고 충분히 보호되고 있음을 알려주는 것이다. 또한 방식을 행하는 경우에는 내재염분에 의해서 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

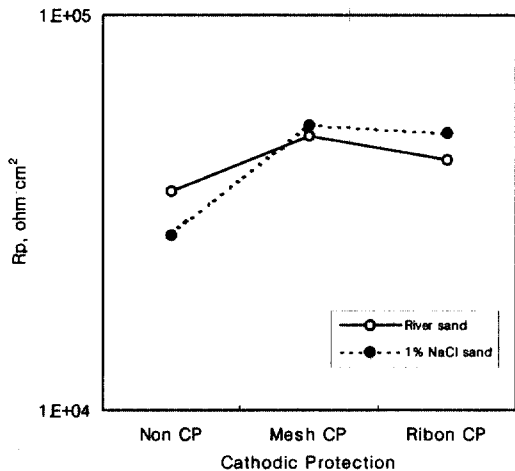


Fig. 4. Effect of cathodic protection on polarization resistance of specimen C and G

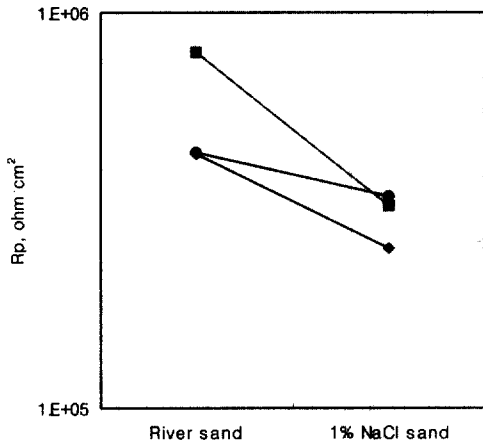


Fig. 5. Effects of salt in sand of specimen AB(river sand) and EF(1% NaCl sand) which are exposed in air

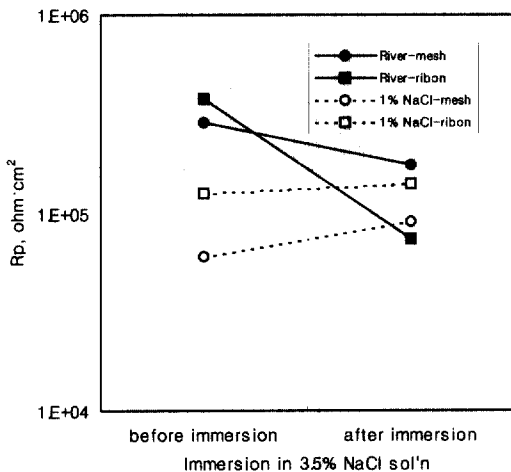


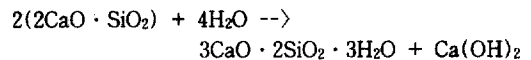
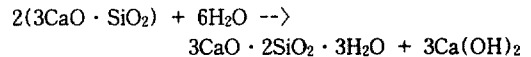
Fig. 6. Effect of salt water-immersion on polarization resistance of specimen AB(river sand) and EF(1% NaCl sand) which had been cathodically protected

하부침지에 따른 염수 침투 효과: 그림 5는 하천사 시험체 A 와 B 및 해사 시험체 E 와 F의 분극 저항에 미치는 내재염분의 효과를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, 대기 중에 콘크리트 시험체를 둔 상태로 시험된 것으로 내재염분에 의해서 분극저항이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 앞의 그림 1a의 결과와 동일하게 나타났다. 그림 6은 그림 4와 유사한 방법으로 시험된 결과로서, 단 외부의 염수침지 방법이 상부염을 이용한 것이 아니고

시험체의 철근 아래 1cm까지 염수(3.5% NaCl)를 채워서 콘크리트의 모세관 효과에 의하여 침투되는 염수의 효과를 알아보기 위한 것이다. 음극방식이 중단된 상태 하천사 시험체(river)의 경우는 방식 형식에 관계없이 하부염수침지로 인하여 분극 저항이 감소하고 있으나 해사 시험체(1% NaCl)의 경우는 하부염수침지에 의하여 분극 저항이 거의 일정하거나 약간 증가하고 있다. 즉, 음극방식 중인 하천사 시험체의 경우는 하부염수침지에 의하여 흡수된 염수에 의하여 철근의 부식에 그 영향이 나타나고 있음을 알 수 있으며, 음극방식 중인 해사 시험체의 경우는 흡수된 염수에 의하여 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다.

3.2 콘크리트 모사 용액 중에서의 전기화학적 실험

콘크리트 중의 철근이 콘크리트에 의해서 보호되는 것은 그 내부가 철근의 부동태화를 촉진시키는 고알칼리성 환경이고 콘크리트가 철근의 부식에 필요한 산소와 물의 침입에 대해서 물리적 장벽으로 작용하기 때문이다. 또 콘크리트 내부가 고알칼리성으로 되는 주 이유는 다음 반응에 의해서 사용한 시멘트의 약 30%가 Ca(OH)₂로 변하기 때문이고, 이 외에 다소나마 NaOH와 KOH가 생성되기 때문이다. 그러므로 콘크리트 내부는 pH가 13 정도까지 상승한다.



철근 콘크리트가 긴 세월동안 대기 중에 노출되면 콘크리트 중의 알칼리성 성분이 서서히 공기 중의 탄산가스와 반응하므로 콘크리트의 pH가 13 내외에서 10 이하로 떨어진다. 이것을 콘크리트의 중성화라 한다. 콘크리트 중에 침투한 염화물 이온의 일부는 시멘트 광물에 의하여 고정되기도 하는데 특히 C₃A(Tricalcium aluminate)에 의하여 Friedel's salt(C₃A · CaCl₂ · 10H₂O)로 고정된다. 염화물 이온에 의한 침식은 염화물 이온과 시멘트 수화물, 즉 Ca(OH)₂와의 반응에 의하여 가용성의 CaCl₂가 생성 및 용출되고 이에 따라 다공화 현상이 생기며,

이 때 일부의 염화물은 침식성이 없는 Friedel's salt로 고정된다고 한다. 또한 염화물 이온의 침투에 따라 팽창성 염화물 물질인 $\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 및 $\text{Mg}_2(\text{OH})_3 \cdot \text{Cl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 가 생성되고 다공성인 C-S-H (Calcium silicate hydrate)의 생성과 더불어 C-S-H로부터 칼슘 성분이 석출되며 기공을 통한 마그네슘의 침투로 수경성이 없는 M-S-H(Magnesium silicate hydrate)로 전환된다. 다시 말해서 염화물은 황산염에 비하면 침식정도는 적으나 어떤 것은

콘크리트를 상당히 열화시키고 특히 건습의 반복으로 인해 염화물은 콘크리트를 직접, 간접적으로 파괴시키는 원인이 되기도 한다. 이와 같이 염화물 이온의 경우는 콘크리트의 화학적 침식보다는 오히려 철근 부식의 관점에서 철근 콘크리트 구조물에 더 해로운 존재이다. 콘크리트 중에 일정량 이상의 염화물 이온이 존재하면 콘크리트는 중성화가 촉진되고 철근은 부식이 진행되어 내구성에 상당한 악영향을 미친다.

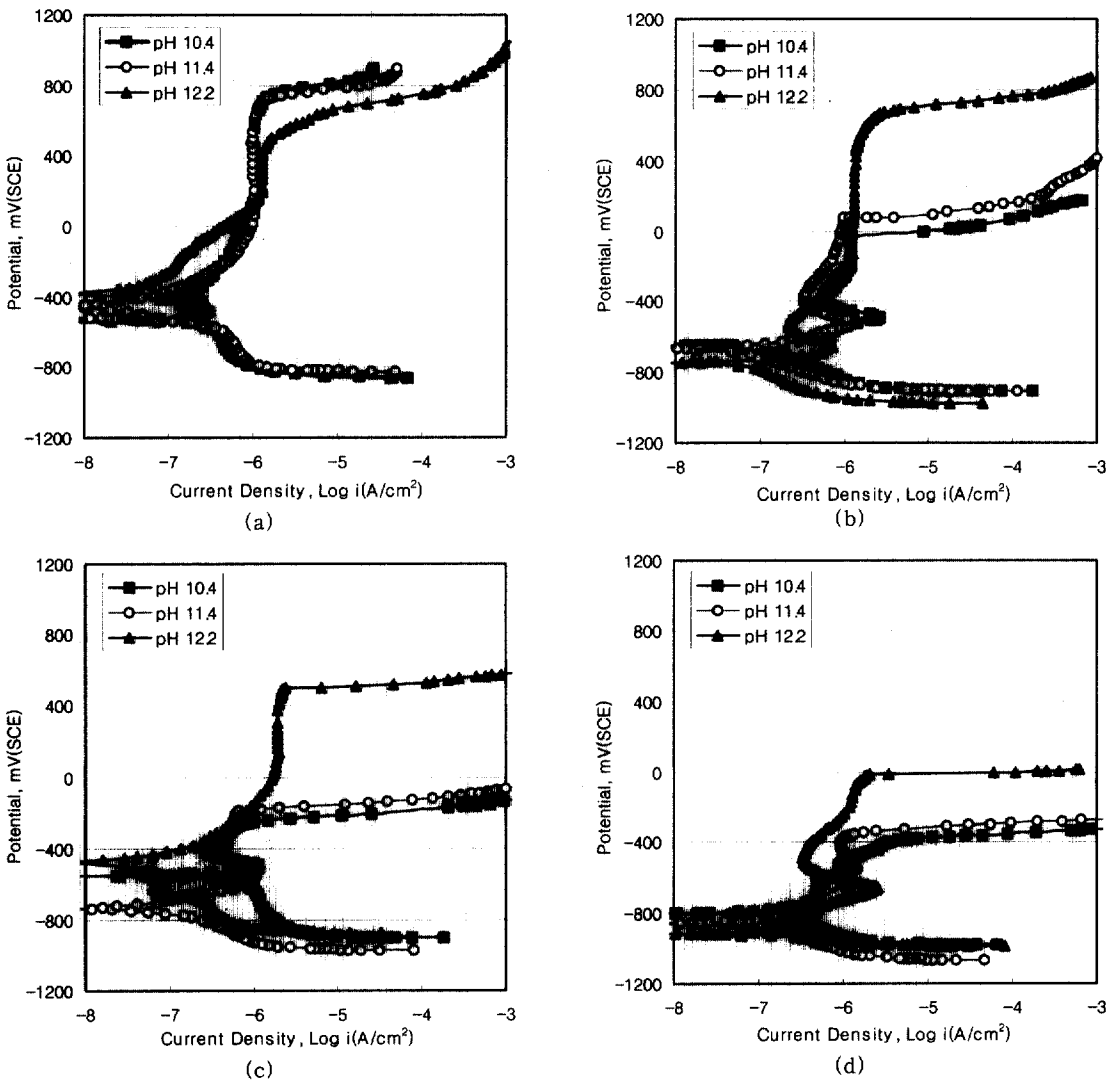


Fig. 7. Effect of pH on anodic polarization behaviors of rebar in simulated pore solution - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ containing (a) free NaCl (b) 0.01% NaCl (c) 0.1% NaCl (d) 1% NaCl

콘크리트에 대한 전기화학적 시험은 콘크리트 자체의 큰 저항 때문에 콘크리트의 화학적 상태를 모사한 조건에서 종종 행하여진다. 대표적인 방법이 포화 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 용액을 사용하거나 이 용액에 NaOH 또는 KOH를 가한 용액을 사용한다. 콘크리트의 pH가 13 전후이므로 이와 유사한 화학적 상태를 만들어 실험을 행하는 것이다. 본 연구에서 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 용액을 이용하여 pH를 12.2, 11.4, 10.4의 용액을 제조하여 콘크리트 중성화 효과를 평가하였으며, 여기에 NaCl을 0.001, 0.01, 0.1, 1% 첨가하여 염수 침투의 효과를 평가하였다.

그림 7은 콘크리트 모사 용액을 이용하여 철근에 대하여 1mV/sec의 분극 속도로 구한 양극분극시험 결과이다. 그림 7a는 염분을 첨가하지 않은 용액 중에서의 결과로서, 세 경우 모두 낮은 부동태 전류밀도를 보이고 있으며 800mV(SCE) 부근에서 전류의 급격한 증가가 있는데 이는 산소 발생에 의한 전류 증가로 판단되며 용액의 pH가 높을수록 산소 발생전위가 낮게 나타남을 알 수 있다. 그림 7b는 0.01% NaCl을 첨가한 세 가지의 pH를 갖는 용액을 제조하여 구한 양극분극곡선이다. pH가 12.2인 경우에는 염분이 첨가되어도 안정한 부동태를 이루어 충분한 내식성을 유지하고 있는데 비하여 pH가 중성으로 내려갈수록 첨가된 염분에 의하여 부동태 피막이 파괴되어 공식이 발생됨을 알 수 있다. 공식 전위는 약 0mV(SCE) 전후이다. 그림 7c는 0.1% NaCl을 첨가한 세 가지의 pH를 갖는 용액을 제조하여 구한 양극분극곡선이다. pH가 12.2인 경우에도 염분이 첨가되면 부동태 피막이 파괴되어 공식이 발생되며 공식 전위는 약 500mV(SCE)이며 pH가 중성으로 내려갈수록 첨가된 염분에 의하여 부동태 피막이 파괴되어 낮은 전위에서 공식이 발생됨을 알 수 있다. 이 경우의 공식 전위는 약 -300mV(SCE) 전후이다. 그림 7d는 1% NaCl을 첨가한 세 가지의 pH를 갖는 용액을 제조하여 구한 양극분극곡선이다. pH가 12.2인 경우에도 염분이 첨가되면 부동태 피막이 파괴되어 공식이 발생되며 공식 전위는 약 0mV(SCE)이다. 그림에서 알 수 있듯이, pH가 중성으로 내려갈수록 첨가된 염분에 의하여 부동태 피막이 파괴되어 낮은 전위에서 공식(Pitting)이 발생됨을 알 수 있다. 공식 전위는

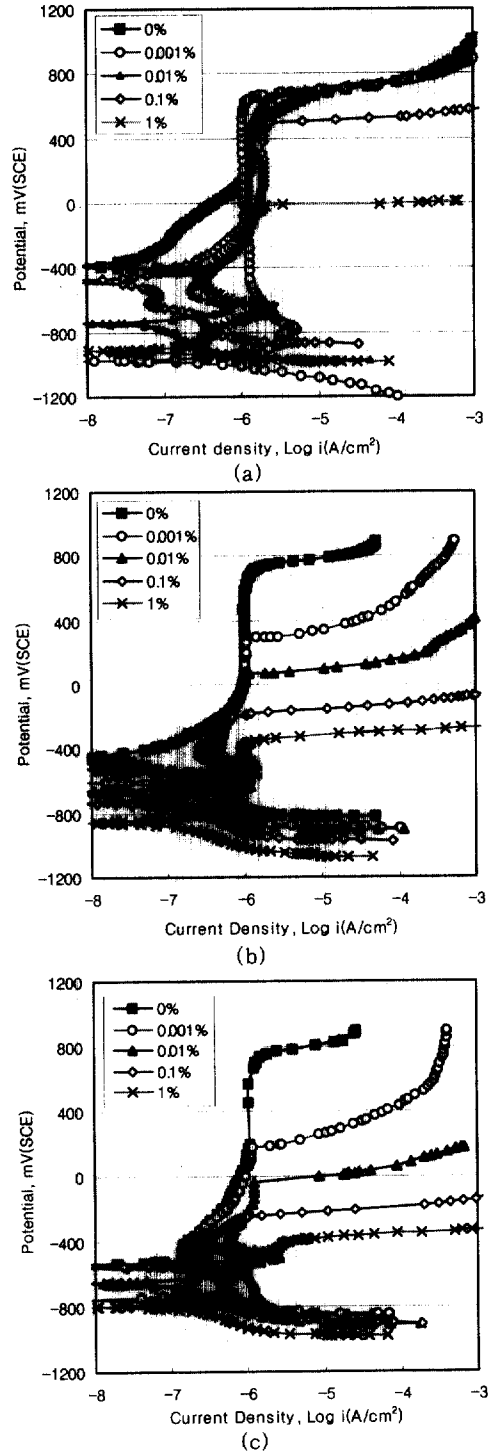


Fig. 8. Effect of chloride on anodic polarization behavior of rebar in simulated pore solutions - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with different pH ; (a) pH 12.2 (b) pH 11.4 (c) pH 10.4

약 -400mV(SCE) 이하이다. 본 연구에서는 콘크리트 시험체를 제조할 때 잔골재 대비 1% NaCl 농도의 시험체를 제작하여 실험하였다. 이러한 시험체의 조건이 앞의 결과에서 나타났듯이 매우 부식성이 강한 조건임을 알 수 있다. 또한 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이, 콘크리트 모사 용액의 pH가 알칼리성일 경우에 염화물 이온의 영향을 덜 받고 있으며 중성화가 이루어질수록 염화물 이온의 영향을 크게 받고 있음을 보여주고 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 건설 시 콘크리트의 중성화가 구조물 전체의 안정성에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

콘크리트 철근 부식에 미치는 염분 및 음극방식의 효과에 대한 전기화학적 접근을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 콘크리트 중의 내재염분에 의하여 철근의 부식 속도가 증가하며, 외부에서 염수를 가하는 경우에는 부식 속도가 더욱 촉진된다. 또한 콘크리트를 통하여 염수가 침투하면 작은 투수율에 의해서도 철근의 부식 속도가 증가하였다. 한편 음극방식에 의하여 내재염분 및 외부염수의 효과를 충분히 억제시켜 철근의 부식을 방지할 수 있었다.

2) 콘크리트 모사 용액의 pH가 강알칼리성을 나타낼 때는 염화물 이온이 첨가되어도 안정한 부동태를 이루어 충분한 내식성을 유지하고 있는데 비하여, pH가 중성으로 내려갈수록 첨가된 염화물 이온에 의하여 부동태 피막이 파괴되어 공식이 발생됨을 알 수 있다. 즉, 콘크리트 모사 용액의 pH가 강알칼리성일 경우에 염화물 이온의 영향을 덜 받

고 있으며 중성화가 이루어질수록 염화물 이온의 영향을 크게 받는 것으로 나타났으며, 이는 콘크리트 구조물의 건설 시 콘크리트의 중성화 및 염분의 혼입에 의해서 콘크리트 구조물의 안정성에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 산업기반기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

References

1. Nihon-Konkurito-Kokaku-Kyokai Kenkyu-linkai -Hokokusho, 1994. 10
2. H. S. Lee, *J. Korean Struct.*, 4, No. 3, 18(2000)
3. C. S. Choi and J. M. Na, *ibid.*, 4, No. 4, 3 (2000)
4. D. H. Cheou and J. H. Kang, *this Journal*, 20, 192 (1991)
5. D. H. Cheon, K. M. Moon, T. S. Paek and J. H. Kang, *this Journal*, 21, 3(1992)
6. J. J. Kim, J. H. Cheong and Y. H. Huh, *this Journal*, 27, 24(1998)
7. J. J. Kim and J. H. Cheong, *this Journal*, 28, 161 (1999)
8. A. Bentur, S. Diamond, N. S. Berke, *Steel Corrosion in Concrete* (1997)
9. Special Issue, *Nihon-Konkurito-Kokaku-Kyokaishi*, 31, 7(1993)
10. P. H. Emmons, "Concrete Repair and Maintenance Illustrated", R. S. Means Co. (1994)