

전위변화에 의한 콘크리트내의 철근방식에 관한 연구

Study on the Corrosionproofing in Concrete by Cathodic Protection

임서형*

Lim, Seo-Hyung

Abstract

The purpose of this study is to apply cathodic protection to reinforced concrete structure and provide fundamental data to prevent the corrosion. The theory of cathodic protection of steel in concrete is to apply sufficient direct current so that corroding anodes on the steel are prevented from discharging ions. Two methods are used to supply the external current. In one, the protected metal is the cathode by connecting it to a more active metal. In the second, an external direct current power source supplies the current. The first is the sacrificial-anode system and the second the impressed-current system. The study results showed that the corrosion of the reinforcing steel in concrete could be enormously decreased by using protective current. The sacrificial anode and concrete have to be adhered closely each in order to prevent the corrosion of reinforcing steel.

Key words : cathodic protection, sacrificial-anode system, impressed-current system.

1. 서 론

콘크리트내부에 있는 철근방식은 콘크리트 구조물의 안전성, 내구성 및 미장성 등의 측면에서 매우 중요하다. 철근은 산화물 상태의 철광석에 에너지를 가하여 얻은 것이기 때문에 철근부식이란 본래 상태인 산화물로 되돌아 갈려는 본질적인 성질 또는 자연적인 경향이다.

콘크리트내부의 철근방식을 대별하면 수분, 산

소 및 염화물 등 부식성 물질을 환경에서 제거, 부식성 물질이 피복콘크리트에 침투·확산되는 것을 방지, 철근의 방식성능 향상, 외부에서 전류를 흘려 철근의 전위를 방식영역으로 변화, 부식 억제제의 사용 등이 있다. 이들 중 현재 방식 및 보수공법으로서 가장 일반화된 것은 콘크리트의 밀실화 및 철근 피복두께 증가, 허용균열폭 제한, 콘크리트표면 라이닝, 레진콘크리트 및 폴리머시멘트콘크리트 등의 사용이다.

* 정회원, 전주산업대 건축학과 전임강사, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

그러나 이들 방법은 철근부식에 대한 근본적인 대책으로서 그 신뢰성이 결여되어 보다 확실한 방식공법의 개발이 요구되고 있으며, 현재 철근의 전위를 변화시켜 부식을 방지하는 전기방식법이 주목받고 있는 상태이다.

전기방식법은 신축되는 콘크리트 구조물 뿐만 아니라 염해를 받은 기존 구조물의 보수공법으로서도 그 활용성이 예상되기 때문에 그 실용화가 크게 기대되고 있는 방식대책의 하나이다. 이미 캐나다, 미국 등에서는 적설한냉지에 있는 도로교의 염해 대책으로서 전기방식이 시험시공된 실적이 있으며, 일본에서도 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 실구조물에 대한 적용 실험^{1),2),3)}이 증가되고 있는 상태이다. 그러나, 전기방식에 대한 시공성, 방식기준 및 방식효과에 대하여는 아직 검토되어야 할 부분이 다수 남아 있으며, 국내의 경우 전기방식에 대한 연구⁴⁾가 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 전기방식을 건축물에 적용시켜 활용하기 위해서는 전기방식의 제반특성에 대한 검토가 요구된다. 그러므로, 본 연구는 실험실 내에서 소규모의 시험체로 실험을 실시하여 그 효과와 문제점을 파악함으로써 전기방식법을 콘크리트 구조물에 적용하기 위한 자료 제시를 목적으로 한다.

2. 전기방식법 개요

전기방식법은 외부에서 전류를 흘려 철근의 전위를 방식영역으로 변화시켜 철근부식을 방지하는 방법이다. 철근의 전위를 열역학적으로 안정한 상태로 있게 되는 안정영역으로 낮추는 방법 즉, 음극방식법과 전위를 증가시켜 부동태 영역으로 변화시키는 방법 즉, 양극방식법이 있다. 이들 중 실용화 가능성이 높은 음극방식법은 방식하려는 철근이 음극 그리고 양극재료를 양극이 되도록 전기회로를 구성하면 양극재료에서 전류가 유출되어 철근으로 흐르게 된다. 이때 Fig 2의 전류와 전위의 관계에서 음극부의 전위가 A까지 저하되고 전류를 더욱 증가시키면 Ea까지 저하되어

방식전지가 소멸되면서 방식상태로 된다. 음극방식법은 이와같이 방식전류의 공급방법에 따라 유전양극법과 외부전원법으로 구분되고 있다.

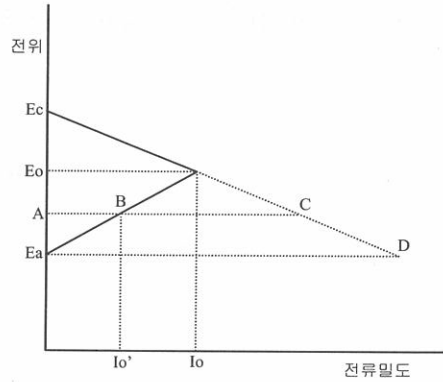


Fig. 1 음극방식의 전위와 전류밀도

2.1 유전양극법

유전양극법은 Fig 2와 같이 부식되는 금속을 음극으로 하고 이보다 전위가 낮은 금속을 양극이 되도록 피방식체에 부착 또는 전기적으로 접속시켜 양 금속사이의 전위차에 의한 전지작용으로 직류전류를 방식전류로 이용하는 방법이다.

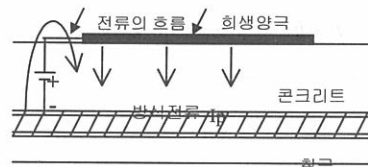


Fig. 2 유전양극법

유전양극법은 전류의 크기를 조절하거나 구조물의 전위를 변화시킬 수 없지만 초기 단계부터 면밀히 설치하면 구조물의 전위를 방식전위 이하로 설정할 수 있기 때문에 광범위하게 이용되고 있다. 이 경우 양극은 용해되면서 피방식체에 전류를 공급하는 희생양극이기 때문에 사용년한이 지나면 교환해야 한다. 희생양극은 균일하게 용해되고 자기부식이 적으며 기전력이 커야 된다는

것 외에 용해생성물이 표면에 부착되어도 전류공급에 장애가 없어야 한다는 것이 매우 중요하다. 이와 같은 재료에는 Mg, Zn, Al 등이 있다. 유전양극법은 전원을 이용할 수 없는 장소나 이동하는 대상물, 소규모로 분산되어 있거나 도장된 구조물 또는 소전류로 방식할 수 있는 구조물에 경제적이며, 설치가 간단하며 관리가 불필요하다는 특징을 갖고 있다.

2.2 외부전원법

외부전원법은 Fig 3에서와 같이 외부에서 공급된 교류전력을 저전압의 직류전력으로 변환시킨 난용성 전극을 이용하여 방식전류를 공급하는 방식이다. 난용성 전극은 납-은합금, 백금도금티탄 선 등이 사용되고 있다. 외부전원법은 전압을 조절할 수 있으므로 모든 환경에 적용할 수 있으며, 난용성 전극을 사용하면 반영구적으로 그리고 전극설치 면적이 적기 때문에 협소한 장소에서도 설치할 수 있다. 또한, 매우 적은 전력비로 유지 가능하며, 유전양극법처럼 양극을 교환할 필요가 없다. 그러나, 음극방식법이 유효하게 작용하기 위해서는 철근 주변이 습윤상태로 되어 방식전류가 원활하게 공급되어야 한다.

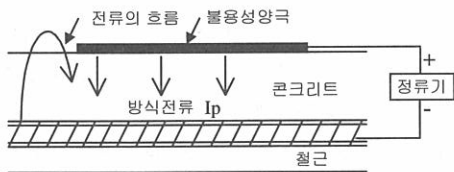


Fig. 3 외부전원법

3. 실험

3.1 사용재료 및 배합

본 실험에 사용한 시멘트는 보통포틀랜드시멘트를, 잔골재는 비중 2.64, 흡수율 0.98, 조립율 2.67인 한강산을, 굵은골재는 비중 2.67, 흡수

율 1.08, 조립율 6.52인 한강산을 각각 사용하였다. 배합수는 일반 수도수를, 염화물량 조절을 위한 NaCl은 농도 99.5%인 시약을 사용하였다. 그리고, 철근은 직경13mm, 길이550mm인 원형강으로서 철근표면의 기름을 아세톤으로 제거한 후 사용하였다. 또한, 철근단부의 부식을 방지하기 위하여 소정의 길이에 광명단을 칠하였다. 유전양극법의 양극재료는 두께2mm, 크기 90×500mm인 아연판을, 외부전원법의 양극재료는 직경 3.2mm, 길이 500mm인 은 40%와 주석 60%인 합금을 각각 사용하였다. 콘크리트의 품질을 변화시키기 위한 배합은 Table 1과 같이 물시멘트비를 45, 55, 65%로 하였으며, 철근부식을 촉진시키기 위한 염화물은 Cl^- 으로 환산하여 $3.0kg/m^3$ 을 첨가하였다.

Table 1. 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위 시멘트량 (kg/m ³)	단위 잔골재량 (kg/m ³)	단위 굵은 골재량 (kg/m ³)
45	37.6	183	407	678	1127
55	39.6	184	335	737	1124
65	41.2	175	295	808	1108

3.2 공시체 제작

유전양극법 및 외부전원법으로 철근 방식을 파악하기 위한 공시체는 150×150×550mm의 휨실험용 모울드를 사용하여 Fig 4, Fig 5와 같이 제작하였다. 유전양극법의 공시체에는 철근 2개를 그리고 외부전원법에는 철근 1개를 각각 배근하였다. 철근 피복두께는 철근이 쉽게 부식되도록 10mm로 하였다. 유전양극법에서의 양극재료는 휨모울드 양 측면에 철근과의 거리가 10mm되도록 그리고 외부전원법에서도 철근 상부 10mm에 양극재료가 매설되도록 고정시킨 다음 콘크리트를 타설하였다. 이때 철근 및 양극재료에는 콘크리트 경화 후 통전을 위해 미리 전선을 설치해 두었다. 제작된 공시체 개수는 유전양극법 3개, 외부전원법 6개 그리고 염화물만 첨가한 공시체 3개로 총 12개 이다.

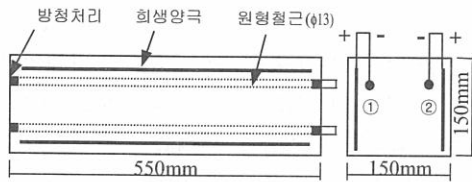


Fig. 4 유전양극법 공시체 형상 및 치수

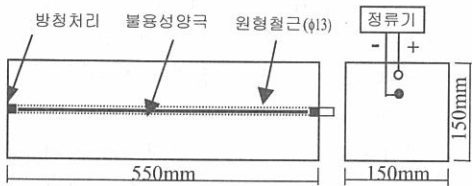


Fig. 5 외부전원법 공시체 형상 및 치수

3.3 양생

콘크리트를 타설하고 24시간이 지난 후 탈형하여 유전양극법의 공시체에서는 철근이 음극부, 아연판이 양극부가 되어 아연판에서 철근으로 방식전류가 흐르도록 접속시켰다. 외부전원법에서는 외부에 있는 정류기를 통하여 각각 20, 50mA/m²의 방식전류 및 2V의 방식전위로 불용성양극이 양극부, 철근이 음극부가 되도록 통전시켰다. 그 다음 항온습실에서 고온건습을 반복시켜 철근부식을 촉진시켰다. 즉, 온도 60℃, 상대습도 90% 이상에서 3일, 온도 20℃이하, 상대습도 70%이하에서 4일을 1사이클로 하여 24주 동안 철근부식을 촉진시켰다.

3.4 측정항목 및 방법

콘크리트에 매설된 철근의 자연전위는 시험체 단부에서 7.5cm를 제외하고 10cm간격으로 5개소를 측정하였다. 자연전위 측정에 사용한 기기는 potentiostat, 기준전극은 포화카로멜 전극(+0.241V vs. SHE)을 각각 사용하였다. 콘크리트 중의 철근 부식성을 자연전위값으로 판단하는 기준으로서는

ASTM C 876에서 제정된 Table 2의 것이 널리 사용되고 있으며, 이 때 사용된 전극은 포화황산동 전극(+0.318V vs.SHE)이다. 따라서, 앞으로 본 연구에서의 자연전위값은 값으로 환산한 값을 사용하기로 한다. 자연전위값은 철근과 양극을 단락시킨 직후의 전위(이하 E_{on}으로 표기)와 잔류전류의 영향을 받지 않도록 24시간 경과 후의 전위(이하 E_{off}으로 표기)를 각각 측정하였으며 이 양자의 차이를 분극량으로 하였다. 또한, 자연전위값은 콘크리트의 함수상태에 따라 변하므로 측정 전에 일정 시간 동안 물에 침적시켜 측정하였다. 이에 대한 측정개요는 Fig 6과 같다.

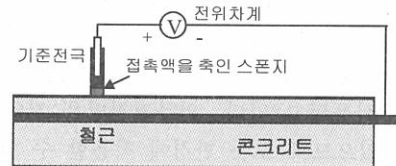


Fig. 6 철근의 자연전위 측정

Table 2. 자연전위값과 철근부식과의 관계

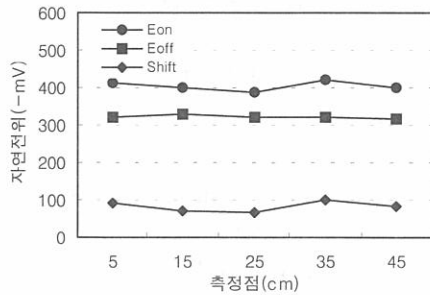
자연전위값	철근부식여부
200mV < E	90%이상의 확률로서 부식 없음
-350mV < E ≤ -200mV	불확정
E ≤ 350mV	90%이상의 확률로서 부식 있음

철근부식면적율은 투명한 셀로판지를 철근표면에 부착한 다음 부식된 부분을 도시하고 5mm 간격으로 직교하는 계측용지에서 부식 부분이 포함된 교점수와 철근전개도에 포함된 전체의 교점수를 이용하여 구하였다. 이때 5mm이하로 부식된 점청은 부식면적을 산정에서 제외하였다.

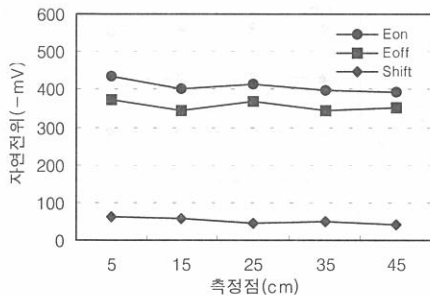
4. 실험결과 및 고찰

4.1 외부전원법과 철근의 자연전위

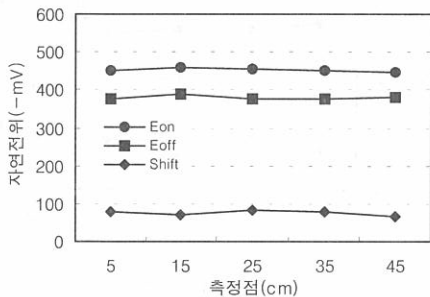
외부전원법의 자연전위는 Fig. 7, Fig. 8에서와 같이 방식전류 20mA에서 E_{on} 값이 -404~



(a) 물시멘트비 45%



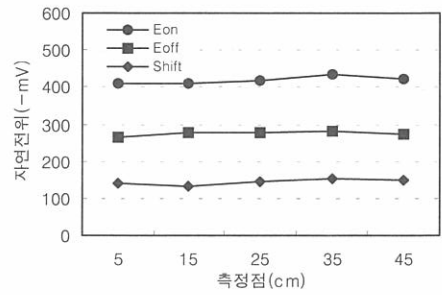
(b) 물시멘트비 55%



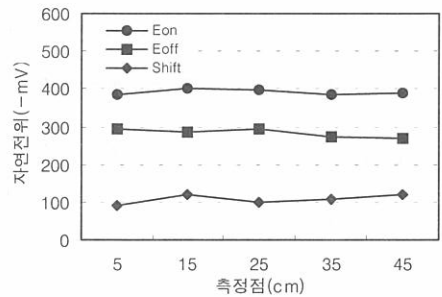
(c) 물시멘트비 65%

Fig. 7 외부전원법의 자연전위 분포(방식전류20mA)

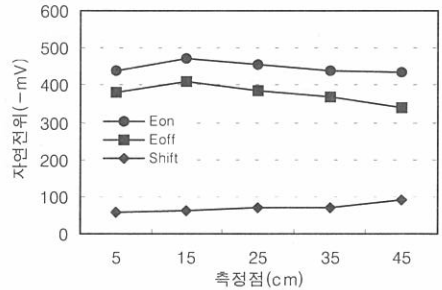
-454mV, Eoff 값이 -322~-379mV으로, 방식전류 50mA에서 Eon 값이 -392~-448mV, Eoff 값이 -275~-377mV으로 각각 분포되어 있다. 각 그림의 범례 중에서 shift는 분극량을 나타낸다. 외부전원법의 자연전위값은 동일 조건의 전기방식을 실시하지 않은 공시체의 자연전위값(Fig 11 참조)과 비교하여 Eon 값은 큰 차가 없으나, Eoff 값은 100mV이상 차이가 나고 있기 때문에 철근부식이



(a) 물시멘트비 45%



(b) 물시멘트비 55%



(c) 물시멘트비 65%

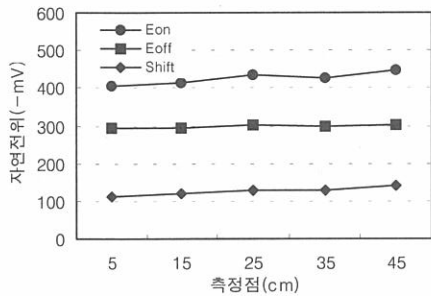
Fig. 8 외부전원법의 자연전위 분포(방식전류 50mA)

억제되었다는 것을 간접적으로 뒷받침해 주고 있다. 또한, 전반적으로 보아 자연전위의 Eon 값은 방식전류 50mA에서 그리고 Eoff 값은 방식전류 20mA에서 크게 즉, 분극량은 방식전류 50mA에서 큰 결과를 보이고 있다. 그리고, 콘크리트의 재질에 따른 분극량의 차이가 뚜렷한 경향을 보이지 않고 있다는 것은 철근피복두께 또는 콘크리트의 결합 등에 관계 없이 전기방식을 실시할 수 있다는

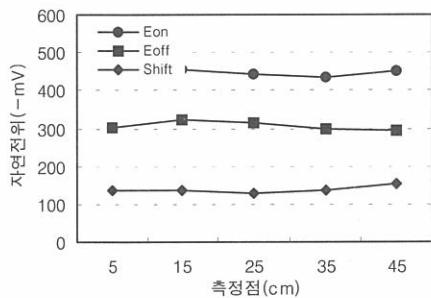
특성을 반영하고 있다. 외부전원법에서의 방식 전류 및 전위는 통전 초기에 시험을 통하여 결정하고 또한 시간이 지남에 따라 부식환경이 변하므로 이에 대응하도록 전류 및 전위값을 조정해야 하지만, 본 연구에서는 기존연구 결과⁵⁾를 기초로 방식전류를 설정하였기 때문에 상기한 분극량과 철근부식과의 관계는 다소 문제가 있다고 판단된다.

4.2 유전양극법과 철근의 자연전위

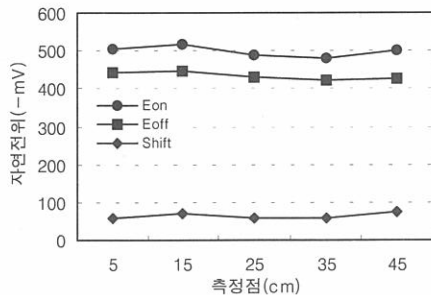
유전양극법의 자연전위는 Fig 9, Fig 10에서와 같이 ①번 철근에서 Eon 값이 -425~498mV, Eoff 값이 -298~434mV으로 그리고 ②번 철근에서 Eon 값이 -402~490mV, Eoff 값이 -201~405mV 값으로 분포되어 있으며, ①번과 ②번 철근 모두 비슷한 분포를 나타내고 있다.



(a) 물시멘트비 45%

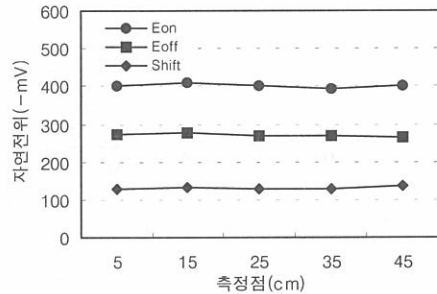


(b) 물시멘트비 55%

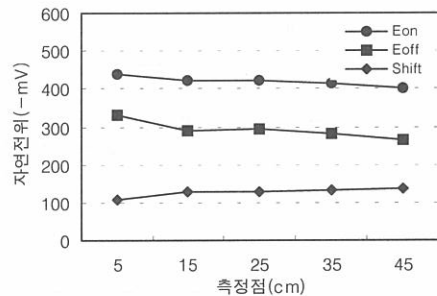


(c) 물시멘트비 65%

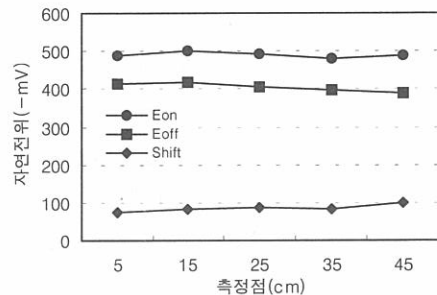
Fig. 9 유전양극법의 자연전위 분포(①번 철근)



(a) 물시멘트비 45%



(b) 물시멘트비 55%



(c) 물시멘트비 65%

Fig. 10 유전양극법의 자연전위 분포(②번 철근)

Eon, Eoff 값 모두 외부전원법과의 차이는 명확할 정도로 차이는 나지 않고 있으나, 분극량은 약 110mV로 외부전원법에 비하여 다소 큰 값을 크게 나타나고 있다. 물시멘트비 65%의 콘크리트에서 Eon, Eoff 값이 크게 즉, 분극량이 작게 나타난 이유는 블리딩의 영향으로 아연판과 콘크리트 사이에 특히 철근이 배근되어 있는 공시체의 상부에 수막층이 다량으로 형성되어 방식전류가 원활히 흐르지 못했던 것으로 추정된다. 즉, 향후 전기방식법을 콘크리트 구조물에 적용하기 위해서는 양극재료와 콘크리트 사이에 전류가 잘 흐르는 재료를 충전해야 되며 또한, 양극재료가 완전 밀착되어야 함을 나타내고 있다. 철근 1개에 대한 Eon, Eoff 값의 분포는 외부전원법을 포함하여 모두 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 불활성인 부분의 자연전위값은 근처 활성인 부분이 있을 경우 그 영향으로 실제값보다 작게 되기 때문이다.

4.3 자연전위값과 부식면적율

전기방식을 실시하지 않은 공시체의 자연전위값은 Fig 11에서와 같이 -365~-453mV로 분포되어 있으며, 이 때의 철근부식면적율은 물시멘트비 45~65%의 범위 내에서 17.1~43.9%로 나타나 ASTM의 기준과 일치하고 있다. 그림의 범례 E는 외부전원법을, G는 유전양극법을 그리고 N은 전기방식을 적용하지 않은 보통콘크리트를 각각 나타낸다. 또한, 전기방식을 적용한 공시체의 자연전위값은 Eoff 값을 기준으로 -271~-434mV이며, 부식면적율은 외부전원법에서 방식전류 20mA의 경우 4.5~4.8%, 50mA의 경우 2.5~3.2%로 나타나 방식전류 50mA에서 방식성능이 다소 양호한 것으로 나타났다. 유전양극법에서는 부식면적율이 최소 1.4%, 최대 9.5%로 나타났다. 외부전원법과 유전양극법을 직접 비교하기에는 문제가 있지만, 전기방식을 적용하지 않은 콘크리트의 부식면적율은 17.1~43.9%로 나타나 철근의 전위변화에 의한 방식성능은 우수한 것으로 나타났다. 외

부전원법에서의 분극량은 52~144mV로 NACE6)에서 규정한 방식설정 전위 100mV에 대부분 미달되었으며, 유전양극법에서는 물시멘트비 65%의 공시체에서 부족하게 나타났다. 이는 외부전원법의 경우 방식전류 설정 과정에서 그리고 유전양극법의 경우 아연판과 콘크리트가 완전 밀착되지 않아 방식전류가 원활히 소통되지 않았던 것이 각각의 원인으로 추정된다. 분극량과 철근부식면적율과의 관계는 Fig 12와 같이 분극량 100mV 이상에서 약 3%정도 부식되었으나, 그 이하에서는 최고 9.5%까지 부식되었다. 그러나, 상기한 바와 같이 전기방식을 적용하지 않은 콘크리트와 비교하면 부식정도는 매우 낮게 나타나 방식효과가 우수한 것으로 판단된다.

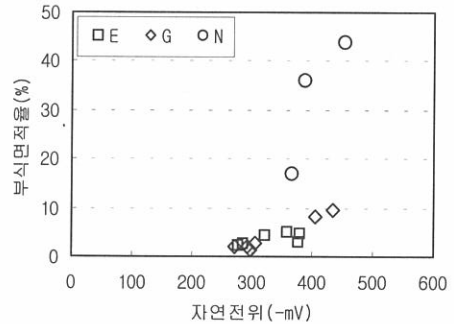


Fig. 11 자연전위와 부식면적율

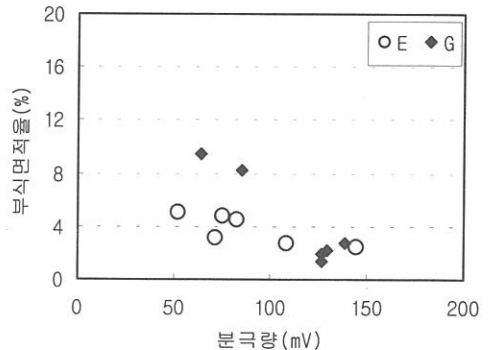


Fig. 12 분극량과 부식면적율

5. 결 론

방식전류를 이용하는 유전양극법과 외부전원법으로 철근부식을 방지하기 위한 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 금속의 전위차 또는 외부에서 공급한 방습전류로 전기방식을 실시한 콘크리트의 철근부식면적율은 보통콘크리트에 비하여 평균 8배 정도 감소된 것으로 나타나 전기방식의 성능이 우수한 것으로 판단된다.

2) 유전양극법을 적용한 물시멘트비 65%의 콘크리트에서는 블리딩으로 발생된 큰 기포 때문에 방식전류가 원활히 흐르지 않아 방식성능이 저하된 것으로 나타났다. 따라서, 향후 성능저하된 콘크리트 구조물의 보수공법으로서 적용하기 위해서는 양극재료와 콘크리트 사이에 보수성과 도전성이 우수한 재료를 충전해야 할 것으로 사료된다.

3) 분극량은 52~144mV으로 분포되어 있으며, 분극량이 클수록 철근부식면적율은 작게 나타나는 경향이 있다.

4) 자연전위값에 따른 철근부식은 전기방식을 실시하지 않은 보통콘크리트에서는 ASTM의 기준과 일치하고 있으나, 전기방식을 적용한 콘크리트에서는 ASTM 기준의 철근부식 불확정 영역에서도 부식되어 이에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 川候孝治 外, "電氣防蝕法による港灣コンクリート構造物中の鋼材の防蝕", 콘크리트工學年次論文報告集12-1, 1990, pp.511~516
2. 新野孝紀 外, "道路橋における電氣防蝕工法の試験施工について, 콘크리트工學年次論文報告集12-1, 1990, pp.521~526
3. 馬庭秀士, 武若耕司, "コンクリート構造物の鹽害對策における電氣防蝕の適用性に關する檢討", 콘크리트工學年次論文報告集13-1, 1991, pp.573~578
4. 권기주, 서용표 외, "콘크리트내 철근의 전기방식과 리모트 모니터링 시스템의 활용에 관한 연구", 콘크리트 학회논문집, 제10권 3호, 1998. 6, pp.209~218
5. 海洋コンクリート構造物の防蝕指針(案), 日本コンクリート工學協會, 1983. pp.75~78
6. NACE Recommended Practice RP-01-69, 1984
7. ASTM C876-80 "Half Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete", 1977
8. Mohammad Golam Ali, Rasheeduzzafar, "Polarization Period, Current Density, and the Cathodic Criteria", ACI Materials Journal, 1992.5-6, pp.247~251

(접수일자 : 1999. 4. 9)