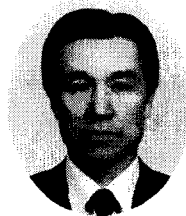


철근콘크리트의 균열폐색 및 표면개선을 위한 전착의 응용

Application of Electro-deposition Method for Crack Closing and Surface Improvement of Reinforced Concrete



문한영*

Moon, Han-Young



류재석**

Ryu, Jae-Seok

ABSTRACT

In this paper, the electro-deposition method for the rehabilitation of cracked concrete, based on the electro-chemical technique, is presented. The main purpose of this paper is to apply this technique to reinforced concrete members on land. After cracking with a specified load (crack width 0.5mm), 10×10×20cm concrete specimens with embedded steel bars were immersed in several solutions, then a constant current density between the embedded steel in concrete and an electrode in the solution was applied for 4~20 weeks. The results indicate that electro-deposits formed in this process are able to close concrete cracks and to coat the concrete surface and that formation of these electro-deposits is confirmed to have an effect of protection against detrimental materials. Therefore, it is demonstrated that the electro-deposition method can be usefully applied for the rehabilitation technique of concrete.

Keywords : electro-deposition, rehabilitation, cracked concrete, current density, electrode, protection, detrimental materials, electric deposition

* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 정회원, 동경공업대학 대학원 토목공학과, 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2000년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

종래에는 콘크리트 구조물을 한번 건설하게 되면 특별한 경우를 제외하고는 반영구적인 기능을 유지할 수 있다고 알려져 왔다. 그러나 1980년대 들어서면서 과거에 축조된 철근콘크리트구조물들이 콘크리트의 중성화, 알칼리 골재반응 및 각종 유해이온 등의 영향을 받아 조기에 성능저하가 크게 진행됨으로써 콘크리트가 가진 본래의 기능이 크게 저하되어 제구실을 발휘할 수 없는 상황에 이르는 경우도 종종 있다고 보고되고 있다.¹⁾ 또한 철근콘크리트구조물은 물리적인 작용 또는 건조수축 및 온도응력과 같은 요인에 의하여 균열이 발생하게 되면 균열부위로부터 유해물질 및 유해가스가 침투하기 쉽게 된다고 한다.

그래서 이들에 의하여 콘크리트의 품질 저하뿐만 아니라 콘크리트 중의 철근 부식이 진행되어 콘크리트 균열의 진전 및 피복두께의 박리현상 등이 생기게 되며 이로 인하여 구조물의 내하력, 내구성 및 수밀성과 같은 성능을 계속 유지하기 어려울 정도로 기능이 떨어진다고 한다.²⁾

그러므로 철근콘크리트구조물이 유해한 환경하에서 기능이 저하될 경우 기능을 회복시키기 위한 대책의 일환으로 현재 시행되고 있는 균열 보수·보강공법 중에는 단면수복공법, 균열주입공법 및 표면피복공법 등을 들 수 있다. 그러나 이들 보수·보강공법들 중에는 성능저하 인자의 불완전한 제거로 인하여 성능저하 부위의 기능을 충분히 회복시키지 못할 뿐만 아니라 보수·보강 이후 다른 형태의 콘크리트 성능저하 및 철근의 부식이 발생하는 문제점이 종종 지적되고 있다.

또한 이들 보수공법이외에 전착은 콘크리트 중에 묻힌 철근의 부식을 억제하기 위한 한 수단으로 "전장(電場)에 있어서 양이온은 음극으로, 음이온은 양극으로 이동한다"는 전기화학적 보수기법의 원리를 바탕으로 이를 응용함으로써 콘크리트 내부의 철근과 외부에 설치한 전극 사이에 통전을 실시하여 콘크리트내부의 이온에 주목해서 화학적으로 보수를 행하는 방법이다. 그런데 이들 전기화학적 기법은 균열이 없는 철근콘크리트구조물이 주된 대상임으로 본 연구에서 시도하고자 하는 균열이 있는 철근콘크리트구조물의 균열보

수공법으로 적용한 예는 거의 찾아보기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 해양환경하에 건설되는 철근콘크리트구조물의 균열폐색(龜裂閉塞) 및 표면개선(表面改善)에 이용되고 있는 기존의 전착 방법을 개량하여 전착물의 석출형태, 투수저항성 및 성능저하 억제 등에 효과가 뛰어난 외부용액, 전류밀도 및 통전시간을 제시하는 것을 주목적으로 하였다. 그리고 육상에 건설된 철근콘크리트구조물에 생긴 균열의 폐색에 의한 철근콘크리트의 기능회복 및 콘크리트 표면부의 개선에 의한 기능향상을 위하여 전착적용 후 콘크리트 성능저하의 억제효과에 대해서도 고찰하였다.

2. 전착의 원리

전착(電着, Electro-deposition)이란 전기분해에 의해 어떤 물질이 석출되어 전극의 표면에 부착되는 것을 말하며, 전해석출(Electric deposition) 또는 전석(電析)이라고도 불린다. 음극은 $M^{n+} + ne^- \rightarrow M$ 에 의해 금속을 석출시키는 것이 많지만, 이산화망간이나 이산화아연 등은 $Mn^{2+} + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + 4H^+ + 4e^-$ 와 같이 산화물을 양극에 석출시키는 경우도 있다.³⁾

철근콘크리트구조물을 대상으로 한 전착기술은 Fig. 1, 2에서와 같이 전해질인 콘크리트에도 적용 가능하다는 발상^{4,5)}을 기초로 내부철근을 음극으로 하고 콘크리트 표면근처에 양극을 설치하여 양극과 콘크리트 표면 사이의 전해질수용액(이하 외부용액으로 약함)에 의하여 전기회로를 형성하였다. 그리고 직류전류를 통하여(이하 통전으로 약함) 균열부와 콘크리트 표면에 전착생성물(이하 전착물로 약함)을 석출시켜 이 전착물로서 콘

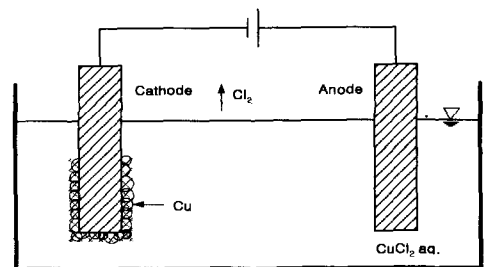


Fig. 1 Basic principle of electro-deposition

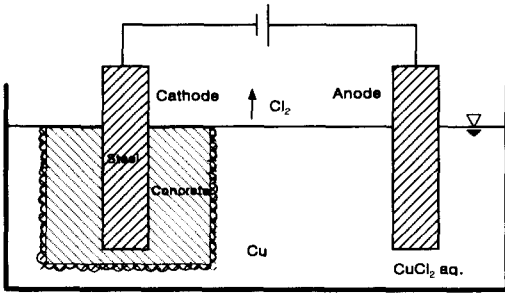


Fig. 2 Application of electro-deposition to the reinforced concrete

콘크리트 균열부의 폐색(閉塞)이나 콘크리트 표면의 개선을 목적으로 하였다.

기존의 연구에서는 해양콘크리트 구조물을 대상으로 전착공법을 적용할 때 외부용액으로는 해수를 이용하였으며, 전착물이 콘크리트 표면에 1~2mm 정도 두께로 코팅 내지는 균열부에 우선적으로 충전되므로써 수밀성을 크게 향상시켰다고 하며, 阿部⁶⁾, 武山⁷⁾에 의하면 콘크리트중의 염화물 이온량의 감소도 확인되었다고 하는 연구 보고도 있다. 그러므로 외부용액을 임의의 전해질 수용액으로 대체함으로써 육상의 철근콘크리트구조물에도 응용이 가능하다고 생각되어 진다. 그러나 콘크리트구조물의 보수공법으로서의 전착공법의 역사는 매우 짧은 뿐만 아니라 특히 육상의 철근콘크리트구조물에 적용된 사례나 연구성과도 거의 없는 실정이다.

해양 철근콘크리트구조물의 경우에는 외부용액의 양이 많으므로 통전중 용액교환의 필요성이 없다는 점과 해수중의 콘크리트는 중성화작용을 받지 않는다는 점이 육상의 철근콘크리트구조물과의 차이점으로 들 수 있다. 또한 이 공법은 다른 전기화학적 보수공법들과 마찬가지로 panel 방식 또는 cellulose-fiber 방식 등에 의해 육상 콘크리트구조물에 적용 가능하다고 생각된다.

3. 실험개요

철근콘크리트에 생긴 균열의 폐색 및 표면개선을 목적으로 외부용액이나 전류밀도 및 통전시간에 주안점을 두어 시험체의 중량변화, 전착물의 성분분석, 균열폐색과 표면피복상황, 투수저항성, 촉진중성화정도 및 염화물이온 침투량 등에 대하여 고찰하였다.

3.1 사용재료 및 콘크리트 배합

- (1) 사용재료 : 보통포틀랜드시멘트, 부순모래 및 부순돌을 사용하였으며, 부순모래와 부순돌의 물리적 성질은 Table 1과 같다. 또한, 철근은 직경 10mm의 원형철근을 사용하였으며, 철근의 녹과 기름을 샌드페이퍼와 아세톤을 이용해 완전히 제거하였다.
- (2) 콘크리트의 배합 : 물-시멘트비 50%, 잔골재율 44%, 단위시멘트량 365kgf/m³으로 정하였으며, 슬럼프값 8±2cm, 공기량 4.0±1%을 목표로 하였다.
- (3) 콘크리트 시험체 : 10×10×20cm의 각주 시험체로서 길이방향으로 18cm의 철근을 덮개 3cm의 위치에 매설하였으며, 철근의 양단에 리드선을 접속하고 에폭시수지로서 접속부위를 절연시켰으며 콘크리트 타설 후 28일간 20±3℃의 수중에서 양생을 실시하였다. 양생이 종료된 시험체는 아래쪽 면을 제외한 나머지 5면을 에폭시수지로 도포한 후, 휨하중에 의하여 0.5±0.1mm의 균열을 임의로 도입하였다.

3.2 통전방법

플라스틱 용기의 바닥에 양극의 티타늄 메쉬를 설치하고 시험체의 균열면을 아래방향으로 하여 내부철근의 높이까지 전해질용액을 채웠다. 이때 시험체의 통전방법은 Fig. 3에서와 같이 갈바노스테트(北斗電工製, HA-301)를 사용하여 항상

Table 1 Physical properties of aggregates

Types	Items	Specific gravity	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m ³)	Percentage of solids (%)
	Fine agg.	2.59	2.08	2.51	1.63	64.0
	Coarse agg.	2.61	0.88	6.85	1.59	61.6

전류밀도가 일정하게 공급되도록 하였다.

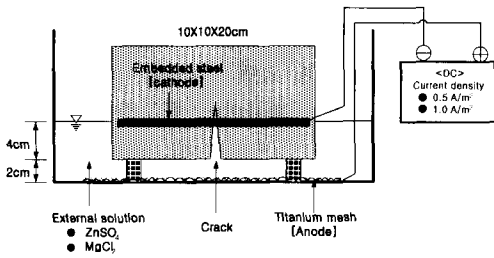


Fig. 3 Specimen orientation and current application scheme.

3.3 외부용액, 전류밀도 및 통전시간

기존의 연구결과⁸⁾를 참고로 하여 $ZnSO_4$ 및 $MgCl_2$ 용액을 각각 $0.1 \text{ mol}/\ell$ 로 제조하였으며 용액은 5일마다 교환하였다. 전류밀도는 콘크리트 표면적에 대하여 0.5 및 $1.0 \text{ A}/\text{m}^2$ 로 정하였으며, 통전시간은 4, 8, 12 및 20주로 정하였다.

본 실험에서 사용한 비교적 약한 전류밀도에서는 철근 근처의 OH의 생성이나 통전에 의한 알카리 골재반응의 염려는 없다고 Hondel 등은 발표하고 있다.⁹⁾

3.4 측정방법

- (1) 시험체의 중량변화 : 전착물의 석출량을 파악하기 위하여 통전 1주일마다 시험체의 중량을 측정하였다.
- (2) 전착물의 분석 : 석출된 전착물을 채취하여 105°C 의 건조로에서 48시간 건조시킨 후, X선 회절분석장치를 이용하여 석출물의 성분을 분석하였으며, 또한 육안에 의하여 전착물의 석출형태를 관찰하였다.
- (3) 균열폐색률, 폐색깊이 및 표면코팅률의 산정 : 소정의 통전이 완료된 후 시험체의 균열길이에 대한 폐색된 균열의 길이를 균열폐색률이라 하였으며, 균열부의 깊이방향에 있어서 전착물에 의하여 균열이 완전히 폐색된 시험체의 표면으로부터의 깊이를 폐색깊이로 정의하였다. 또한, 시험체 표면에 석출된 전착물을 트레이싱 페이퍼로 복

사를 한 후 시험체 표면적에 대한 전착물의 석출면적을 표면코팅률이라 하였다.

- (4) 투수저항성 : Fig. 4에서와 같은 변수위 투수시험을 JIS A 6909 "건축용타감 도장재" 투수시험 B법¹⁰⁾ 및 宮川 등의 연구¹¹⁾를 참고로 하여 실시하였다. 균열이 있는 시험체의 표면을 윗면으로 하여 아크릴판을 실리콘으로 실링하고 증류수를 주입하였으며, 증류수의 증발을 막기 위하여 파라핀으로 봉인하였다. 그리고 소정의 시간에서 수두차(水頭差)에 의하여 투수계수를 산출하였다.

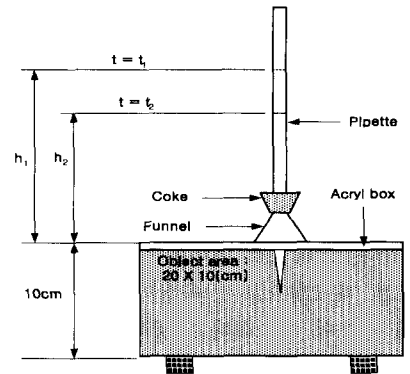


Fig. 4 The modified permeability test from JIS A 6909

- (5) 촉진중성화시험 : 12주의 통전이 완료된 시험체를 CO_2 농도 10%, 온도 20°C 및 습도 60%의 조건으로 촉진중성화시험을 실시하였으며, 통전을 실시하지 않은 시험체(기준 시험체 또는 Control로 약함)의 중성화 깊이가 1cm 정도일 때 JIS K 8006에 의하여 1% 페놀프탈레인 용액을 시험체의 쪼개진 면에 분무하여 콘크리트 표면으로부터 적색부위까지의 거리 5부위를 측정하여 평균값을 중성화 깊이로 하였다.
- (6) 염화물이온 침투시험 : 통전이 완료된 시험체의 균열이 없는 건전부분을 $5 \times 5 \times 10 \text{ cm}$ 로 절단하여 3.0wt% NaCl 수용액 중에 28일간 침지한 후 시험체를 쪼개어 초산(硝酸銀) 적정법에 의하여 염화물의 침투깊이를 측정하였다.¹²⁾

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전착물의 석출에 대한 고찰

4.1.1 전착에 의한 시험체의 중량변화

전착에 의한 콘크리트시험체의 중량변화를 재령별로 나타낸 것이 Fig. 5로서, 두 종류의 외부용액에 의하여 시험체의 표면에 전착물이 생성, 석출됨에 따라 재령의 증가와 함께 중량이 증가되었다.

이 그림에서 알 수 있듯이 $MgCl_2$, $ZnSO_4$ 용액 및 전류밀도에 따라 시험체의 중량이 다소 상이한 경향을 나타내었으며, $MgCl_2$ 용액에서의 전착에 의한 석출량이 $ZnSO_4$ 에서보다 많아 시험체의 중량이 크게 나타났다.

특히, $ZnSO_4$ 용액중에는 SO_4^{2-} 이온이 존재하므로 양극에서는 수소이온이 생성되며 외부용액의 pH를 감소시켜 산성상태가 되기 쉬워 콘크리트 표면의 페이스트 부분이 용출되어 중량의 증가폭이 다소 작게 나타난 것으로 생각된다.

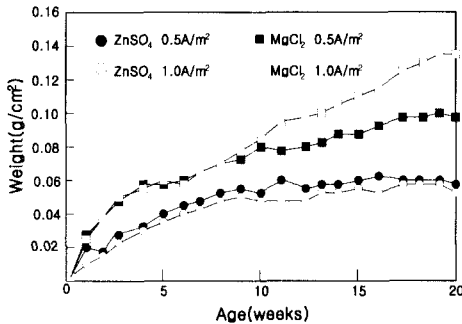
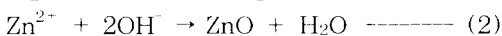
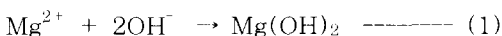


Fig. 5 Weight of electro-deposits according to electro-deposits

4.1.2 전착물의 성분 및 석출형태

통전에 의하여 석출된 전착물의 성분은 $MgCl_2$ 및 $ZnSO_4$ 의 외부용액의 양이온과 콘크리트의 세공용액 중에 존재하고 있는 수산화물이온이 결합하여 각각 식 (1), (2)의 반응에 의하여 $Mg(OH)_2$ 및 ZnO 가 석출되었음을 알 수 있었다.



한편, 전착물의 석출형태는 Fig. 6에서와 같이 외부용액의 종류에 따라 약간 상이하였으며, $ZnSO_4$ 용액에서는 전착물인 ZnO 가 균열의 내부까지 깊숙히 침투되는 형태로 나타났다. 반면, $MgCl_2$ 용액에서는 전착물인 $Mg(OH)_2$ 가 얼룩무늬 형상으로 석출되었으며 시험체 표면은 요철형태로 나타났다.

이러한 현상은 외부용액에 따라 석출형태가 다소 다를 뿐만 아니라, 시험체의 표면근처에 굵은 골재가 존재하게 되면 이온이 이동하는데 방해받아서 전착물이 석출되지 않는 경우가 종종 발생하였다.

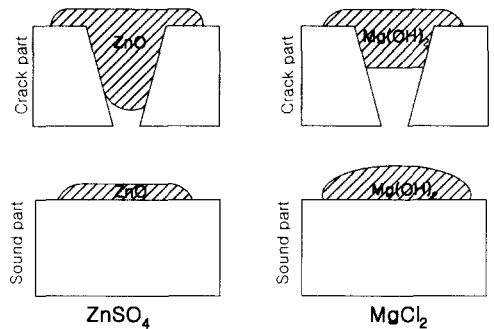


Fig. 6 Pattern of electro-deposition of specimen

4.2 전착에 의한 균열폐색 및 표면개선에 대한 고찰

4.2.1 균열부의 석출

통전조건 4종류별 균열이 있는 시험체의 균열 폐색률과 균열의 폐색깊이를 산정하여 재령별로 정리한 것이 각각 Fig. 7 및 Fig. 8이다.

Fig. 7은 4종류의 통전조건에 따른 재령 20주까지의 균열폐색률을 나타낸 것으로서, 통전 2주 전후에서 $MgCl_2$ 0.5A/m²과 $ZnSO_4$ 의 1.0A/m²의 조건에서 균열폐색률이 약 70% 정도에 달하는 반면, $MgCl_2$ 1.0A/m²과 $ZnSO_4$ 0.5A/m²의 조건에서는 균열폐색률이 통전 5주에서 약 90% 정도를 나타내었다. 그러나, 모든 시험체는 통전 12주 정도에서 균열폐색률이 90% 이상의 좋은 결과를 나타내었다.

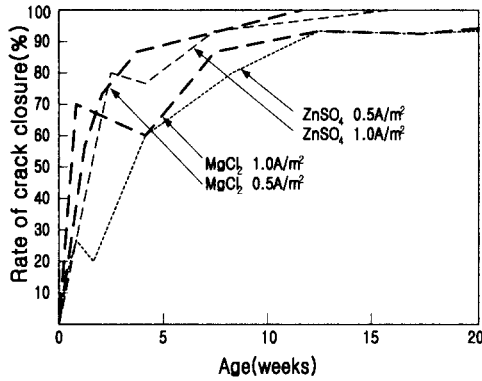


Fig. 7 Rate of crack closure according to electro-deposits

Fig. 8에서 $ZnSO_4$ $0.5A/m^2$ 과 $MgCl_2$ $0.5 A/m^2$ 의 조건에서는 재령 4주 정도에서 폐색깊이가 상대적으로 크게 나타났으나, 재령이 증가함에 따라 폐색깊이가 크게 줄어드는 반면, $ZnSO_4$ $1.0A/m^2$ 과 $MgCl_2$ $1.0A/m^2$ 의 조건에서는 재령과 더불어 폐색깊이가 오히려 증가하는 경향을 나타내었다.

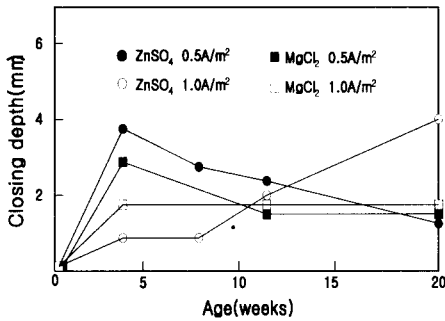


Fig. 8 Closing depth of crack according to electro-deposits

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 균열의 폐색 깊이와 균열의 폐색률과의 사이에는 명확한 상관 관계를 찾아 볼 수 없었으며, 통전에 따른 재령의 증가와 더불어 폐색률은 크게 증가하는 반면, 폐색깊이의 경향을 알 수 없었다. 이는 전착물의 석출을 위해 필요한 이온의 공급이 먼저 석출된 전착물에 의해 방해받기 때문으로 생각되며 통전시간이 증가함에 따라 균열폐색 깊이가 작아진

이유는 이미 석출된 전착물이 외부용액 중에 용출되었기 때문으로 생각된다.

4.2.2 시험체 표면부의 석출

소정의 통전이 완료된 후 시험체 표면에 석출된 전착물의 표면코팅률을 경과시간별로 재령 20주까지 나타낸 것이 Fig. 9이다. 통전 4주에서는 60~70% 정도의 표면코팅률을 나타내었으며, 통전 20주에서는 약 80~90% 정도의 표면코팅률을 나타냄으로서 콘크리트 표면이 중성화나 염화물이온의 침투에 따른 저항성을 향상시키는데 유효하다고 생각된다. 그러나 콘크리트 표면 근처에 굽은골재가 존재할 경우 굽은골재의 방해에 의한 영향 또는 외부용액의 산성화에 의한 페이스트의 용출 등의 요인 때문에 시험체의 표면이 완전하게 코팅되지 않은 경우도 있었다. 그러나 전착물의 생성에 의한 콘크리트 표면의 코팅 두께는 약 0.5~2mm 정도 범위에 있음을 알 수 있었다.

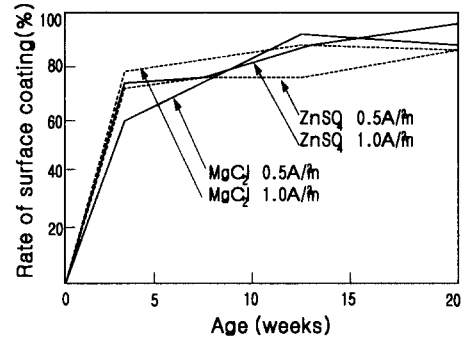


Fig. 9 Rate of surface coating according to electro-deposits

4.3 전착물의 석출에 의한 투수저항성

전착적용 전후의 콘크리트 공시체의 투수시험을 실시하여 전착에 의한 균열부의 투수저항성의 개선에 대하여 고찰하였다. 균열이 있는 콘크리트 시험체를 4종류의 통전조건에 따라 재령 20주까지의 투수계수로 정리한 것이 Fig. 10이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 균열이 있으며 통전하지 않은 콘크리트 시험체의 투수계수가 4.3×10^{-2} cm/sec 정도인데 비하여, 통전한 콘크리트 시험체의 투수계수는 재령 20주에서 5.6×10^{-8}

cm/sec 정도로 수밀성이 크게 향상되었다. 통전한 콘크리트 시험체의 투수저항성이 향상된 원인은 균열이 있는 콘크리트 시험체의 균열부위를 전착물이 폐색하여 조적을 치밀화함에 기인되었다고 생각된다.

그래서 통전 12주에서의 전착물의 세공량을 측정된 결과가 Table 2로서, ZnSO₄의 조건에서는 전류밀도에 관계없이 세공량은 큰 차이가 없었으나, MgCl₂의 조건에서는 전류밀도가 작을수록 세공량이 크게 작아짐을 알 수 있었다. 그 이유는 전류밀도가 낮은 쪽이 전하나 이온의 이동이 지연되는 탓도 있으나, 한편으로는 Fig. 5에서 알 수 있듯이 MgCl₂의 조건에서 석출물의 증량이 ZnSO₄의 조건에서 보다 큰 탓으로 세공량이 훨씬 감소되었다고 생각된다.

Table 2 Pore volume of electro-deposits at 12 weeks (cc/g)

External solution Electro-deposits Current density	ZnSO ₄	MgCl ₂
	ZnO	Mg(OH) ₂
0.5 A/m ²	0.206	0.087
1.0 A/m ²	0.152	0.186

이번에는 통전 전과 통전 후의 콘크리트 시험체의 표면 1cm 정도 아래의 표층부의 세공량을 재령 4주, 12주 및 20주와 전류밀도 별로 정리한 것이 Fig. 11이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 통전 전에 비하여 통전 후의 콘크리트 시험체 표층부의 세공량이 대체로 감소되었으며, 특히 ZnSO₄의 조건에서는 MgCl₂의 조건에서 보다 세공량이 크게 감소되는 좋은 결과를 나타내었다. 그러나 콘크리트 시험체 표층부의 세공량과 전류밀도 및 재령과의 사이에는 상관성을 찾아 볼 수 없었다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 전착물의 세공량과 균열부를 석출량으로 매운 콘크리트 시험체의 투수성과의 사이에는 비교적 좋은 상관관계가 성립되었으나 콘크리트 시험체 표층부의 세공량과 전착물의 석출량과는 직접적인 상관관계가 없음을 알 수 있었다.

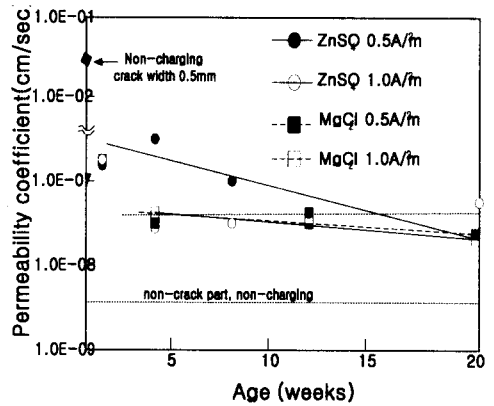


Fig. 10 Permeability coefficient according to electro-deposits

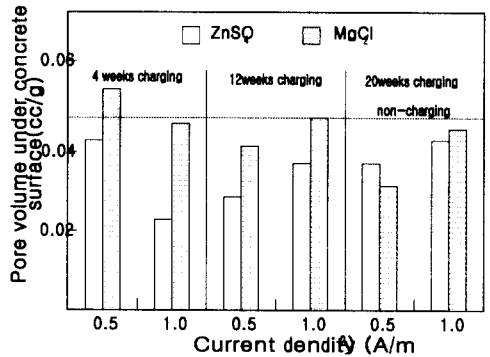


Fig. 11 Pore volume under concrete surface

4.4 전착 종료 후의 성능저하 억제 효과

4.4.1 중성화

통전 후의 콘크리트 시험체의 중성화 정도를 알아보기 위하여 촉진중성화시험을 실시한 결과가 Table 3이다. 이 표에서 알 수 있듯이 통전하지 않은 기준 콘크리트(Control)의 중성화 깊이가 전류밀도에 관계없이 6.06mm 인데 비하여, ZnSO₄ 및 MgCl₂의 조건에서 통전한 콘크리트 시험체의 중성화 깊이가 크게 줄어들었음을 알 수 있다. 특히 MgCl₂의 조건에서는 ZnSO₄의 조건에서 보다 중성화의 억제효과가 상대적으로 큼을 알 수 있었다.

이번에는 중성화 후 두 종류의 용액과 전류밀도를 달리한 시험체중의 전착물의 세공량을 측정하여 정리한 것이 Table 4이다. 이 표에 의하면

중성화 후의 전착물의 세공량이 중성화 전보다 오히려 크게 감소 되었음을 알 수 있으며, 중성화 후의 전착물의 세공량이 감소된 원인은 ZnO나 Mg(OH)₂와 같은 전착물이 이산화탄소와 반응하여 탄산염으로 변화하면서 조직이 치밀해진 때문으로 생각된다.

Table 3 Result of carbonation depth (mm)

External solution / Current density	Control	ZnSO ₄	MgCl ₂
	0.5 A/m ²	6.06 (100)	2.53 (58.3)
1.0 A/m ²	6.06 (100)	1.59 (73.7)	0.94 (84.5)

()는 기준콘크리트의 중성화 깊이 100에 대한 비

Table 4 Pore volume of electro-deposits before and after carbonation (cc/g)

Current density	External solution	ZnSO ₄	MgCl ₂
	0.5 A/m ²	Before carbonation	0.206
After carbonation		0.177	0.023
1.0 A/m ²	Before carbonation	0.152	0.186
	After carbonation	0.090	0.019

4.4.2 염화물이온 침투

염화물이온이 철근콘크리트 속으로 침투하게 되면 콘크리트 속에 묻힌 철근의 부식이 촉진되며 콘크리트표복이 탈락하게 되어 내구성이 크게 저하되는 문제점이 지적되고 있다.

그래서 균열이 없고 통전하지 않은 건전한 콘크리트 시험체와 2종류의 용액조건과 전류밀도를 달리하여 통전한 콘크리트 시험체의 염화물이온 침투깊이를 20주 동안 측정한 결과를 재령별로 나타낸 것이 Fig. 12이다.

이 그림에서 균열이 없고 통전하지 않은 건전한 콘크리트 시험체의 경우일지라도 통전한 콘크리트 시험체와 비교하여 염화물이온의 침투깊이가 크게 상이함을 알 수 있었다.

특히 ZnSO₄의 조건에서 통전한 콘크리트 시험체의 경우 염화물이온의 침투억제효과가 크게 나

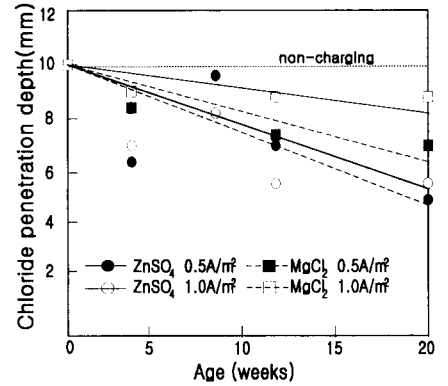


Fig. 12 Chloride penetration depth according to electro-deposits

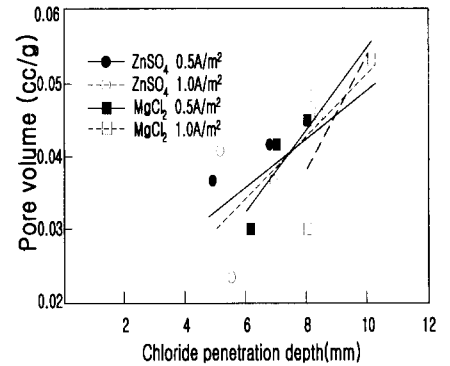


Fig. 13 Relationship between chloride penetration depth and pore volume under concrete surface

타났음을 알 수 있었다. 이와 같이 ZnSO₄의 조건에서 염화물이온의 침투억제효과가 큰 이유는 Fig. 11의 투수성시험결과에서와 같이 거의 대부분의 통전기간에서 콘크리트 표층부의 세공량이 상대적으로 작아졌기 때문이라고 생각된다. 그래서 콘크리트 시험체 표층부의 세공량과 염화물이온 침투깊이와의 상관관계를 정리한 것이 Fig. 13으로서, 콘크리트 시험체 표층부의 세공량이 작을수록 염화물이온 침투깊이가 작음을 알 수 있다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, 콘크리트 시험체를 통전함으로써 전착물이 석출되어 콘크리트 시험체의 세공조직이 치밀화 될 뿐만 아니라 콘크리트 표층부를 코팅함으로써 염화물이온과 같은 유해용액의 침투를 억제하는 효과가 있다고 생각된다.

5. 결 론

본 연구 실험의 범위내에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 시험편을 $ZnSO_4$ 와 $MgCl_2$ 의 수용액에서 $0.5A/m^2$ 및 $1.0A/m^2$ 의 전류밀도로 통전한 결과 균열부 및 표면부에서 전착물의 석출이 가능하였으며, 또한 균열부에 있어서는 균열을 폐색하는 것처럼 표면부에 있어서는 표면을 코팅하는 것과 같이 석출시키는 것이 가능함을 알 수 있었다.
- 2) 전착물에 의한 콘크리트 시험편의 균열폐색 효과가 있었으므로 투수저항성이 크게 개선되었다. 그러나 석출된 전착물의 공극구조에 따라 세공량이 달라지며 세공량이 적을수록 투수저항성이 크게 향상되었으며 저전류밀도로 통전을 실시하는 것이 보다 효과적이라 생각되었다.
- 3) 콘크리트 표면을 전착물로 피복시키므로써 콘크리트 중성화의 진행억제 및 염화물이온 침투를 억제할 수 있었다. 염화물이온의 침투깊이와 콘크리트 표층부의 세공량과의 사이에는 상관관계가 있었으며 콘크리트 표층부의 세공량이 적을수록 염화물이온 침투억제효과가 크게 나타남을 알 수 있었다.
- 4) 본 연구의 통전조건에서 얻어진 결과에 대하여 평가해보면, 외부용액 $MgCl_2$ 와 전류밀도 $0.5A/m^2$ 에서 균열의 폐색 및 중성화의 억제 효과가 있었으며, 한편 표층부의 개선 및 염화물이온의 침투억제는 외부용액 $ZnSO_4$ 와 전류밀도 $0.5A/m^2$ 에서 통전을 실시하는 것이 효과적이라 생각되었다.

참고문헌

1. 日本콘크리트工學協會：콘크리트構造物の劣化および補修事例集, 1996

2. 李翰承, 友澤史紀, 野口貴文, 大村陳庭：鹽害による鐵筋腐食がRC梁の耐久性能低下に及ぼす影響：コンクリート構造物の補修工法に關するシンポジウム論文報告集, 1996, pp. 87-92
3. 大木道則ほか編集：化學辭典, 1994
4. Yokoda, M., and Fukute, T., "Rehabilitation and Protection of Marine Concrete Structures using Electro-deposition Method." Proceedings of the International RILEM/CSIRO/ACRA Conference on Rehabilitation of Concrete Structures, RILEM, Melbourne, 1992, pp. 213-222
5. 横田 優, 浮田和明, 熊田試：電着技術を利用したコンクリート構造物の防蝕及び補修について：土木學會第42回年次學術講演會, 第5部, 1987, pp. 504-505
6. 阿部正美, 福手 勤, 横田 優, 佐木晴敏：港灣コンクリート構造物の補修工法としての電着の適用性：港灣技術研究報告, Vol. 30, No. 3, 1991, pp. 25-64
7. 武山正人, 横田 優, 井上芳樹：電着工法を利用した海洋コンクリート構造物の補修と防蝕について：土木學會四國支部第2回技術研究發表會講演概要集, 1996, pp. 402-403
8. 平山周一, 大即信明, 久田 眞, 番匠谷英司：通電による鐵筋コンクリートのひび割れ閉塞のフィジビリティ・スタディ：土木學會第52回年次學術講演會, 第5部, 1997, pp. 332-333
9. Van der Hondel, A. J., and Polder, R. B., "Electro-chemical Realkalisation and Chloride Removal of Concrete," Concrete Repair, Sept./Oct., 1992, pp. 19-24
10. JIS 핸드ブック 24-1, 建築・材料編：1995, pp. 764-765
11. 宮川豊章, 久田 眞, 井上管, 藤井 學：コンクリートの表面處理による ASR 膨脹の抑制効果について：コンクリート工學論文集, Vol. 2, No. 1, 1991, pp. 135-148
12. 大即信明, 中下兼次：硬化したコンクリート中における塩素イオン量の測定に關する研究, セメント技術年報43, 1989, pp. 230-235

요 약

균열이 있는 철근콘크리트를 대상으로 기능회복을 위한 전기화학적 방법을 기초로 한 전착공법의 적용에 대하여 실험적으로 검토하였다. 지금까지 전착공법은 주로 해양콘크리트 구조물을 대상으로 적용하고 있으나, 본 논문에서는 전착기술을 육상의 철근콘크리트 구조물의 균열부위에 적용하고자 하였다. 그래서 철근을 묻은 $10 \times 10 \times 20$ cm의 콘크리트 시험편에 약 0.5mm 정도의 균열을 미리 만든 후 2종류의 용액에 침지하여 콘크리트 속의 철근과 용액중의 양극재 사이에 일정 전류를 4~20주 동안 흘려보냈다. 이 과정에서 콘크리트 표면 및 균열부에 전착물이 생성되었으며, 이들 전착물질들은 균열폐색의 효과가 있었을 뿐만 아니라 투수저항성도 개선하였다. 또한 콘크리트 표면을 전착물로 피복시켜 콘크리트 중성화 및 염화물이온 침투를 억제하는 효과가 인정되므로 전착공법은 콘크리트의 기능회복 기술로서 유용하게 응용될 수 있다고 생각된다.

(접수일자 : 1999. 9. 15)