

|| 콘크리트 교량에 적용된 신기술 ||

염해에 대한 콘크리트 교량의 내구성 향상 기술

- Improved Technologies of Durability of Concrete Bridge for Chloride Attack -



정해문*
Cheong, Hai moon



안태송**
Ahn, Tae Song



이광명***
Lee, Kwang Myong

1. 머리말

콘크리트는 화학적으로 매우 안정하여 반영구적인 재료라고 인식되어져 왔으나, 최근 들어 해양 환경, 적설한랭지대, 도심이나 터널과 같은 환경에서 조기 성능저하되는 현상이 많이 발견되면서 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 실제로 여러 선진국에서 염해에 의한 피해를 받은 교량에서 예상 사용수명 이전에 철거되거나, 개·보수비용이 초기 건설비용보다 더 많이 드는 예가 적지 않게 보고 되면서, 내구성을 고려한 설계 및 유지관리 기법을 이용하여 콘크리트 구조물의 수명을 연장시키기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

본고에서는 콘크리트를 조기 성능저하시키는 여러 현상들 중에서 염해, 특히 해양 환경에서의 염해를 중심으로 기술하기로 한다. 해양 환경에서의 염해는 해안선을 따라 발생하므로 탄산화나 동해에 비해 비록 손상 예가 적지만, 일단 염해에 의해 손상을 입으면 손상되기 이전으로 성능을 회복시키기가 매우 어렵고, 보수비용이 많이 들어 선진국에서는 콘크리트의 암이라고 불리울 정도로 그 중요성이 매우 크다고 할 수 있다.¹⁾

콘크리트 구조물의 목표내구수명을 향상시키기 위해서는 지금까지 축적된 많은 연구결과들을 바탕으로 내구수명을 확보할 수 있도록 설계와 시공을 행하고, 설계 시 예측했던 대로 내구성이 유지되는지를 유지관리단계에서 점검하는 것이 무엇보다 중요

하다고 할 수 있다.

선진 외국에서는 1970년대 이후, 우리나라에서는 1990년 중반 이후 염해에 대한 관심이 증폭되면서 많은 연구가 진행되어 왔으며, 이러한 연구결과를 토대로 설계, 시공시의 지침이 잘 정비되어 오고 있다^{2,3,4)}. 그러나 국내에서는 내구성에 대한 연구이력이 짧은 뿐만 아니라, 각종 시방서 및 지침 등의 작성시 외국 것을 그대로 답습하면서 국내의 자연환경 및 시공환경이나 정서, 기술수준 등이 고려되지 않았던 점이 많으므로, 향후 국내 데이터를 기반으로 국내 실정에 맞는 대책이나 공법이 정립되어야 할 필요성이 절실하다고 할 수 있다.

따라서 본고에서는 국내 해양환경 실정에 맞는 재료 및 공법에 대한 검토 결과들을 바탕으로 해양환경에서의 염해에 대하여 내구성 향상을 위한 최근 기술동향에 대해서 고찰하였다.

2. 국내 해양 환경에 대한 고찰

콘크리트 구조물의 염해는 해수중의 염소이온에 의해 콘크리트 조직 자체가 변화되기도 하지만, 실제로 이에 대한 손상 예는 거의 발견되지 않고, 이보다 구조물 내에 매입되어 있는 강재의 부식으로 인한 영향이 더 중요하다. 염해 현상은 염소이온의 침투와 염소이온 존재하의 철근의 부식 반응으로 나누어 설명할 수 있으나, 철근부식을 위한 임계 염소이온 농도를 넘어 철근부식이 진행된 이후에는 적용가능 한 보수 방법에 제한이 따르고 보수비용이 매우 증가하므로, 외부로부터 침투한 염소이온이 철근위치에서 부식발생을 위한 임계염소이온 농도에 도달하는 시기까지를

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 재료·환경연구그룹 책임연구원

** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 재료·환경연구그룹 수석연구원

*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

염해에 대한 수명으로 보는 견해가 일반적이다. 따라서 지금까지 대부분의 염해에 대한 연구는 콘크리트로의 염소이온 확산 현상에 대한 것이 주를 이루었다.

최근 들어 내구성능을 고려하는 방향으로 콘크리트 관련 시방서 및 지침류가 개정되고 있다. 지금까지 축적된 내구성관련 데이터를 토대로 설계시 내구성 저하를 예측하여 이 예측치가 타당한가의 여부를 평가하는 방법으로 바뀌고 있다^{2,3,4)}. 따라서 염해에 의한 내구성 저하를 예측하기 위해서는 염해 환경 및 콘크리트내 염소이온 확산에 관련된 축적되고 정리된 데이터의 확보가 무엇보다 중요하다. 가장 기본적인 대책인 콘크리트 피복두께 및

물-시멘트비(W/C)의 결정에는 W/C에 따른 염소이온 확산계수와 구조물 위치별 표면염소이온농도에 대한 데이터가 필요하나, 이에 대한 국내 데이터가 정리되어 있지 못하므로, 이 정리 작업이 시급히 이루어져야 할 것으로 생각된다. 이를 위해서는 국내 해안교량에 대한 전국적인 실태조사를 통하여 데이터를 확보하고, 지금까지 많은 연구자들에 의해 각각 이루어진 실험결과들을 정리할 필요가 있다.

콘크리트내 염소이온 확산에 관련된 연구는 많이 이루어져 왔으나, 염해에 대한 내구성 확보 측면에서 콘크리트 재료별, 품질별 상대비교를 위한 실험실적인 연구결과가 많고, 실제 염해환경에 노출시켜 염해 환경에 대한 조사는 많지 않았으므로 본고에서는 국내 염해 환경에 대하여 고찰해 보기로 한다.

2.1 염해의 영향을 받는 환경에 대하여

염해를 고려해야 하는 구조물의 선정을 위해서는 염해의 영향을 받는 환경에 대한 조사가 필요하다. 즉, 콘크리트 구조물의 염해는 염소이온의 침투에 의한 철근부식이 그 손상 기구이므로 부식의 근원인 염소이온의 출처에 대한 조사가 필수적이다. 염소이온의 출처로는 내부 염소이온과 외부 침투 염소이온으로 구분하는데, 콘크리트 제조시에 혼입되는 내부 염소이온은 이미 KS 레미콘 규정에서 최대함유량을 규제하고 있으므로, 콘크리트 구성 재료로부터 기인하는 염소이온의 영향을 최소한으로 배제할 수 있는 반면, 외부로부터 침투하는 염소이온, 즉 해양환경에 놓인 구조물이라면 해수 노출의 영향에 대한 조사와 분석 및 이에 따른 대책이 무엇보다 중요하다. 따라서 염해에 대한 대책이 필요한 구조물 선정을 위해 염소이온 공급량의 척도인 표면염소이온농도를 확인할 필요가 있는데, 표면염소이온농도는 강 구조물의 부착염소이온농도와 같이 쉽게 측정할 수 없으므로 해수 접촉 환경별 표면염소이온농도를 구해 환경별 염해영향 정도를 파악해 둘 필요가 있다.

콘크리트 구조물의 해수접촉환경을 <그림 1>에 나타내었다. 평균간조위보다 아래는 상시 해수와 접촉하고 있으므로 해수중부, 평균 간조위와 평균 만조위 사이는 매일 건습이 반복되는 간만대부, 평균 만조위 위로 2~4m 정도 위는 파도에 의해 일시적으로 해수와 접촉하는 비말대, 비말대 위를 해상대기부로 구분하고 있다. 통상 해수중부가 해수의 염소이온 공급이 가장 많으므로 염소이온 침투가 가장 많으나, 철근 부식은 수분과 산소가 공존해야 발생하므로 건습이 반복되는 간만대 및 비말대가 철근부식 현상이 가장 현저한 것으로 알려져 있다. 국내 해안의 경우, 서·남해안은 조수간만이 큰 데 비하여, 동해안은 거의 조수간만이 없다.

<그림 2>는 서·남해상 고속도로 교량의 표면염소이온농도를 해수접촉 부위별로 측정된 예를 나타낸 것으로써, HWL의 4~10m 아래는 간만대, HWL로부터 2~4m까지는 비말대이다. <그림 3>은 서해안 고속도로 교량의 한 예로서 해수접촉 부위별

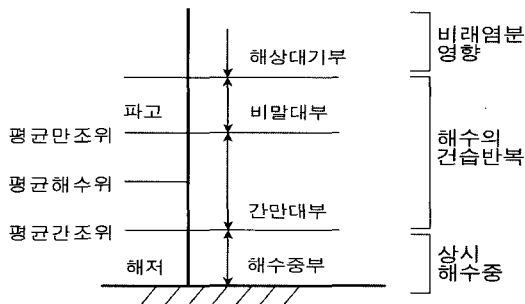


그림 1. 해수접촉부위별 구분

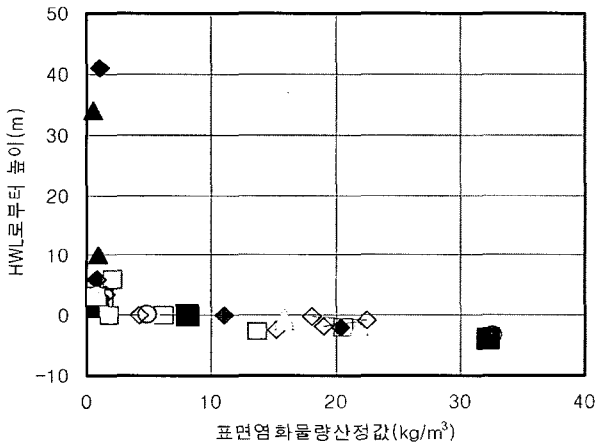


그림 2. 해수접촉부위별 표면염소이온농도 산정예(서·남해안교량예)

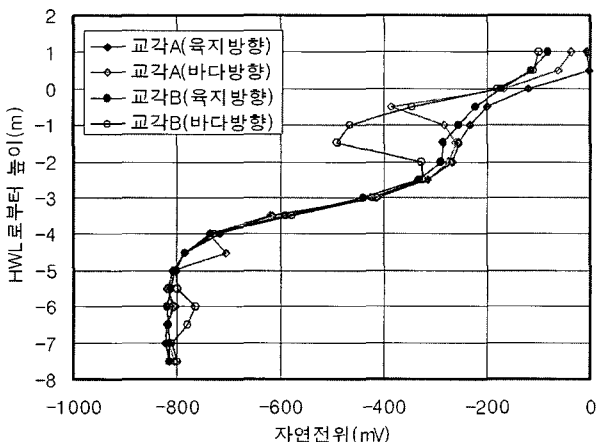


그림 3. 해수접촉부위별 철근의 자연전위 측정예(서해안 교량)

철근의 자연전위 측정결과를 나타낸 예이다. 여기에서 간만대는 HWL로부터 아래도 9m 정도까지이다. 본 예에서 알 수 있듯이 간만대의 경우 비말대 및 해상대기부에 비해 표면염소이온농도가 크고, 자연전위도 (-)방향으로 큰 것으로 나타나, 해상 교량이라 하더라도 해수 접촉 부위별로 차이가 나는 것을 알 수 있다. 따라서 내염 대책은 해수 접촉 부위별로 보았을 때 상시 해수의 건습이 반복되는 간만대에 대하여 중점적으로 검토되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 해수중과 간만, 비말대의 경우, 해수 접촉면을 어느 정도 명확하게 구분할 수 있으나, 해안선으로부터 떨어진 해안의 경우에는 염분이 비래하는 형태가 여러 요인에 의해 달라지므로 정확히 영향 범위를 파악하기가 쉽지 않다. 일본토목학회와 일본건축학회 콘크리트 표준시방서에서는 해안선으로부터 250m까지를 염해의 영향을 받는 지역으로 구분하고 있고, 국내에서도 이 규정을 그대로 채택하고 있는 실정이다. 일본의 경우 1984년부터 3년간 전국 266개 해양환경 지점에 대한 비래염분량을 조사해 염해지역 범위를 규정한 것이다.⁵⁾

비래염분이란 파도가 부서어지면서 생기는 직경 약 4mm 이하의 해수방울과, 해수기포가 부서지면서 대기중으로 방출되는 3 ~ 18 μm 정도의 해염입자 등이 해상 상승기류를 타고 바람에 의해 육지까지 날라 오는 염분을 말한다. 통상 해안선으로부터 수십 m까지, 태풍이나 강한 계절풍이 있을 경우 수백 m 이상까지 영향을 미치는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 비래염분을 측정하기 위해서는 바다로부터 비래하는 대기중 염분을 포집하여 그 양을 측정하여야 하는데, 비래염분 포집을 위한 방법은 KS와 JIS에 규정되어 있는 거즈방식(KS D 0060 옥외 폭로 시험방법 통칙, 참고 3 해염입자량 측정), 일본토목연구회에서 제안한 스테인레스 방식, ISO규격의 wet candle법(ISO/TC 156), 그 밖에 deposit gauge법, dust jar법 등 여러 방법이 보고 되고 있다. 비래염분량은 NaCl로 환산하여 mdd라고 하는 단위로 나타내는데, 이는 mg NaCl/dm²/day 로서 일정면적(1 dm² = 100 cm²)에 하루 동안 부착되는 NaCl의 양이다. 일본의 경우, 전국적으로 비래염분량과 콘크리트 구조물 염해 손상과의 상관관계를 분석한 결과, 비래염분량이 1.0 mdd 이하에서는 염해손상이 적었고, 1.0 ~ 10.0 mdd 이상을 나타내는 지역에서 손상이 비교적 많이 발생하였다고 보고하였다.^{6,7)}

〈그림 4〉에 국내 비래염분량 포집결과 예를 나타내었는데, 국내해안별로 13개 지점의 비래염분량을 약 3년간 조사해 본 결과, 동해안이 1.0 mdd를 초월하는 것으로 나타났고, 서·남해안이 1.0 mdd를 넘지 않는 것으로 나타났다⁸⁾. 이와 같이 해안별로 비래염분량의 차이가 나타나는 것은 동해안이 서남해안에 비해 비래염분의 발생자체가 많고, 해안선이 단순해 비래염분의 이동도 용이하기 때문이라고 보인다. 즉, 동해안은 바다가 깊어 먼 바다로부터 발생하는 파도가 크고, 뿔의 형태를 보이는 서·남해안과

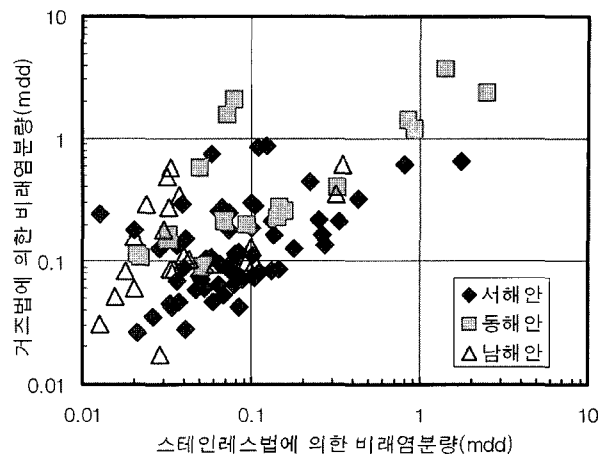
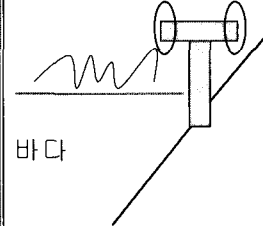
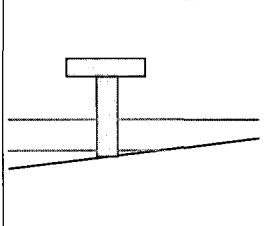


그림 4. 국내 해안별 비래염분량 측정결과 예

표 1. 국내해안특성 비교

구분		
해안	동해안, 일본	서해안, 남해안
해안특성	깊은 바다 높은 파도 간만 거의 없음 해안선 단순 비래염분 많음	얕은 바다 낮은 파도 간만이 매우 큼 해안선 복잡 비래염분 적음
염해 손상 부위	비래염분의 영향이 큰 비말대 및 해상대기부	간만대 부위

달리 바뀌어 되어 있는 해안선이 많아 파도가 부서지는 등, 비래염분의 발생이 많다. 그리고 서남해안은 해안선이 복잡하고 섬이 많아 비래염분 이동을 방해하는 지형적 요인을 지니고 있으나, 동해안은 해안선이 단순해 비래염분의 이동이 용이한 특성을 보인다. 그러나 비래염분량 측정개소가 많지 않으므로, 전국적인 조사를 통해 비래염분 영향지역에 대한 종합적인 검토가 필요하다.

2.2 국내 해안 환경별 대책 구분

국내 해안 교량의 경우, 외국과 다소 다른 해양 환경을 나타내고, 해안별로도 서남해안과 동해안의 해안 환경이 달라 염해의 손상이 다르게 나타나므로, 설계, 시공, 유지관리시 대책이 달라져야 할 것으로 생각된다. 〈표 1〉에 국내 해양 환경을 나타내어 보았다. 일본의 해안 환경이 우리나라 동해안과 유사한데, 일본의 경우 조수간만이 거의 없고 비래염분의 영향이 크므로, 교량 하부구조에 비해 상부구조에 내염을 위한 설계를 더 중요하게 생각해 왔다. 즉 상부구조 중 비래염분의 영향을 가장 많이 받는 거더 아랫면의 경우, 균열제어 측면에서 콘크리트 피복두께를 50

mm 이상 확보하기가 실제로 어렵다. 교각이나 기초에 비해서 상부구조는 고강도 콘크리트를 사용하므로 차염성이 보다 우수하지만, 피복두께를 충분히 크게 할 수 없으므로, 목표수명을 확보하기 어렵다. 따라서 콘크리트 표면도장, 에폭시 도막칠근, 전기방식 등의 내염공법들도 거의 상부구조에 국한되고 있다. 따라서 동해안의 경우, 조수간만이 거의 없는 대신 비래염분의 영향이 크므로, 일본과 마찬가지로 상부구조를 중심으로 하는 대책을 세우도록 하는 것이 타당하다.

그러나, 우리나라 서남해안의 경우에는 일본과 달리, 조수간만이 큰 대신, 비래염분에 의한 영향이 크지 않으므로, 해상 교량의 간만대 부위를 중점적으로 적극적인 대책을 세우고, 해상대기 부위나 해안선에서 어느 정도 떨어진 교량의 경우 염해에 의한 손상우려가 그다지 크지 않다고 판단되므로 해상 간만대에 비해서는 다소 가벼운 대책을 세워도 무방할 것으로 생각된다. 여기에서 해상교량의 간만대 부위는 하부구조인 교각 및 기초에 해당되어, 상부구조에 비해 피복두께를 크게 확보할 수 있으므로 W/C가 낮고 차염성이 우수한 고로슬래그와 같은 광물성 혼화재를 사용하는 고품질의 콘크리트를 사용하여 충분한 피복두께를 확보하는 대책을 기본적으로 선택하는 것이 중요하다.

3. 내구성 향상을 위한 각종 공법에 대한 고찰

해안 교량용 콘크리트 내구성 향상을 위한 각종 공법들이 제안되어 있다. 대표적인 것들은 콘크리트 표면도장, 에폭시 도막칠근, 전기방식공법, 탈염공법 등이 있는데, 교량이 놓여져 있는 환경, 시공성, 경제성 등을 평가하여 신설시 설계와 시공과정, 유지관리 과정에서 보수/보강을 위해 적절한 공법을 선정하도록 한다.

3.1 콘크리트 표면도장공법

콘크리트 구조물의 성능을 저하 시키는 외부 요인을 차단 혹은 억제하여 내구성을 확보하는 콘크리트 표면도장공법은 손상된 콘크리트에 대한 보수공법의 하나로 예전부터 구조물 보수에 폭넓게 사용되어 왔다. 최근 들어서는 신설 콘크리트 구조물에 대한 성능저하 방지대책으로서 뿐만 아니라, 보수시에도 적용할 수 있으며, 공법자체로서는 시공이 비교적 간단하고, 단면 및 중량 증가의 부담도 없을 뿐 아니라, 유지보수가 용이하고, 재료측면에서는 보수재 차원에서 검토 실적이 많아 적극적인 활용이 기대된다.⁹⁾

3.1.1 콘크리트 도장재료의 구분

콘크리트 도장계의 분류에 대한 공통된 의견은 아직 없으나, 편의상, 흡수방지제(통상 침투식 도장재라고 불려 왔음)와 코팅식으로 분류하기도 하고, 화학성분에 따라 분류하기도 한다¹⁰⁾.

흡수방지제는 일반적으로 발수제계와 공극충진형으로 분류하는데, 콘크리트 표면에 수 mm에서 수십 mm 정도 침투하여 그 성능을 발휘한다. 발수제계는 콘크리트 공극에 침투, 공극벽을 코팅하여 공극이 소수성(疏水性)이 되도록 하고, 공극충진형은 콘크리트 공극에 침투 가능한 낮은 점성 도료로 충전시켜, 수분과 염소이온 등의 침투를 억제시킨 것이다. 침투식은 균열 발생시 균열을 커버해주는 성능이 코팅식에 비해 떨어지므로, 직접 해수와 접촉하는 부위에서의 사용은 바람직하지 않으나, 시공이 매우 간편하므로 성능저하 환경이 그다지 심하지 않은 해상대기부나 해안으로부터 어느 정도 떨어진 교량에 유효하다.

코팅식은 표면에 수십 μ m에서 수천 μ m의 도막을 형성하는 것으로, 도막은 일반적으로 프라이머(primer), 퍼티(putty), 중도(intermediate coat), 상도(top coat)의 도장계로 이루어져 있어 시스템 도장이라고 부른다. 프라이머는 바탕 콘크리트와 퍼티와의 부착성 향상, 바탕재에 대한 주재의 흡수 방지 등을 목적으로 사용되는 것이고, 퍼티는 바탕 콘크리트 표면의 기포와 결함을 충전시켜, 피복에 적합한 평활한 표면을 형성하는 것을 목적으로 사용되는 것을 말한다. 중도는 주로 수밀성, 기밀성을 갖는 도막의 주된 기능을 담당하는 부위로, 각종 성능저하 요인의 침입을 차단하는 피막을 형성하고, 상도는 도막의 마감층으로서 마감면의 착색, 광택의 부여, 내후성의 향상, 흡수의 방지 등을 목적으로 사용되는 것을 말한다. 이러한 식의 각 기능이 조합된 도장계를 이루고 있어, 흡수방지제에 비해 성능이 우수해, 성능저하 환경이 매우 심한 부위의 구조물에 대해서는 코팅식의 도장계가 주를 이루고 있다. 최근에는 침투식과 코팅식이 복합된 도장계도 개발되어 시판되고 있다.

3.1.2 염해방지를 위한 도장재료가 갖춰야할 성능^{1,9,10,11)}

내염용 도장재료는 해수와 접하거나, 비래염분에 의한 영향을 받는 경우에, 외부로부터 염분의 침투를 차단하기 위한 성능이 우수하여야 하고, 또한 철근의 부식은 염분뿐만 아니라, 산소와 수분이 함께 작용해야하므로, 산소와 물에 대한 차단성능도 필요하다. 일반적으로, 염분이 존재할 경우, 철근의 부식반응은 산소율속(oxygen-controlled)이므로, 부식속도의 제어는 산소공급을 차단하지 못하면 무의미하다. 특히 철근이 부식되어, 재부식을 막기 위한 보수의 경우에는 더욱 주의할 필요가 있다.

한편, 강 구조물과 달리 콘크리트 구조물은 건조수축 등에 의해 균열이 발생하므로, 유해한 균열폭까지 발생할 경우 균열을 커버해줄 수 있어야 한다. 이러한 성능을 균열 추종성능이라고 하는데, 콘크리트 구조물의 진행성 균열, 차량통행에 의해 개폐되는 동적 균열, 개폐되지 않는 정적 균열 등 발생하는 모든 균열에 대해 추종성능을 가져야 하며, 그렇기 위해서는 도막이 어느 정도 탄성과 두께가 확보되어야 한다. 그리고 아무리 우수한 차단성능과 균열에 대한 추종성능을 보유하고 있다고 하더라도

콘크리트와의 부착성이 좋지 않다면 도막으로서의 기능을 발휘하지 못하므로, 콘크리트와의 부착성능도 우수해야 한다.

3.1.3 향후 해결 과제

현재 시판되고 있는 내염용 도장재료들은 강 구조물 중방식도로 분야에서 이미 염해에 대한 내구성을 인정받은 재료들로서 재료자체의 성능이 우수하다. 염소이온에 대한 차단성의 경우, 콘크리트에 비해 약 $10^2 \sim 10^4$ 정도 작은 확산계수를 나타내고 있다. 그러나 우수한 성능을 가진 도장재료라 하더라도 바탕 콘크리트의 표면처리 등 시공과정 중에서 세심한 주의를 기울이지 못한다면 성능을 발휘하지 못하게 되므로 도로선정 과정부터 시공, 검사까지 철저한 품질관리가 필요하다.¹¹⁾

그리고, 국내에서는 아직까지 염해를 방지할 목적으로 시공되는 표면도장재료를 선정하기 위한 합리적인 판단기준 및 평가방법이 없다. 따라서 콘크리트 표면도장재료의 성능평가 및 품질기준, 그리고 내구년한 산정 등에 관한 체계적인 연구가 절실히 필요한 실정이다.

3.2 전기방식공법

염해에 의해 발생한 철근부식은 전기화학적 반응이므로, 철근에 방식전류를 계속적으로 통하게 하여 철근 부식반응을 전기화학적으로 제어, 철근부식이 진행되지 못하도록 하는 공법이 전기방식공법이다. 염소이온에 의하여 오염된 철근 콘크리트 구조물을 방식하는 효과적인 방법이나 더 이상 부식의 진행을 억제할 뿐, 부식으로 손상된 부위를 다시 회복시켜 강화하는 방법은 아니다. 예방유지관리 측면에서 신설시부터 공법을 적용하게 되면 원칙적으로 방식전류가 공급되는 한 거의 반영구적인 철근부식방지가 가능하나, 비용이 다소 비싸다. 그러나 유지관리단계에서 이미 상당량의 염소이온이 침투해 철근부식이 발생한 단계에서는 더 이상의 부식진행을 근본적으로 억제해 주므로, 공용수명 확보를 위해서 가장 유리한 공법이라고 할 수 있다¹²⁾. 국내에서는 콘크리트 구조물에 적용된 예가 그다지 많지 않고, 앞서 기술한대로 염소이온이 가장 용이하게 침투하는 간판대 부위의 교각에 적용된 예도 거의 없을 뿐만 아니라, 비용이 비싸다는 단점이 있다.

현재까지 철근 콘크리트 구조물 전기방식 실적은 미국, 일본 등 선진외국에서 1970년대부터 본격적인 적용 이래 약 100만 m^2 정도 시공되었다. 일본과 국내의 경우 대부분 해양 구조물, 특히 항만 구조물의 염해에 대한 보수공법으로 적용된 예가 주가 되나, 미국이나 영국, 북유럽 등에서는 제빙화학제 살포에 의한 교량 바닥판에 대한 염해의 보수공법으로 적용된 예가 많다.

3.2.1 전기방식공법의 종류

전기방식공법은 토양이나 수중 등에 매설된 배관이나, 저장탱

크, 선박 등의 강 구조물에 대한 부식방지방법으로 매우 일반적으로 사용되고 있다. 단지 철근 콘크리트 구조물의 전기방식은 일반적인 강구조물의 전기방식과 개념상으로 동일하나, 피방식체인 철근 전체에 대하여 일정한 전위를 가하기 위하여 양극을 구조물의 전체 표면을 덮는 형태로 시공하는 것이 특징이라고 할 수 있다.

전기방식은 콘크리트 중의 철근을 음극으로 하고 철근 외부에 설치된 전극을 양극으로 하여 전기회로를 형성시키는데, 철근의 전위를 부식이 일어나지 않은 전위로 떨어뜨리는 방법의 음극방식(cathodic protection)이 일반적이고, 방식전류를 흘려주는 방법에 따라 외부전원방식과 희생양극방식이 있다.

희생양극법은 유전양극방식이라고도 하며 서로 다른 금속간의 전위차를 이용하여 방식전류를 얻는 방법으로써 방식을 하고자 하는 구조물보다 이온화 경향이 큰 금속을 전해질내에서 전기적으로 연결하면 이온화 경향이 큰 금속이 양극, 방식 구조물이 음극이 되어 방식전류가 양극에서 전해질을 통해 음극으로 흐르게 된다. 이 방법은 전지작용에 의해서 방식전류를 얻기 때문에 방식전류에 제한이 있어서 방식구조물이 대형인 경우에는 부적합하다. 희생양극법의 재료는 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 및 아연(Zn) 등이 쓰이며 양극의 접지저항을 낮추어 발생전류를 많게 하기 위하여 비저항이 낮은 재료로 채워 사용한다. 양극재 설치 방법에 따라 슈트, 용사, 매입형 등이 있는데, 즉 양극재를 슈트 형태로 콘크리트 표면에 접촉시키거나, 용사시켜 내부 철근과 전기적으로 접속시키는 방법, 코어를 뚫어 내부의 철근과 바로 접속시키는 방법 등이 있다.

외부전원방식은 직류전원을 공급하는 정류기의 양극을 콘크리트 표면에 설치한 전극(양극)에 접속하고, 음극을 철근에 접속한 후 전압을 가하여 방식전류를 얻는 방법으로써 <그림 5>와 같이 정류기, 전극 및 부속배선으로 구성되어 있다. 이 방법은 전원을 외부에서 얻기 때문에 큰 전류를 흘려줄 수 있어서 방식 구조물이 대형인 경우에 적합하나, 주위에 전철이 지나가는 등의 전기적 간섭의 영향을 받을 수 있으므로 전기적 간섭이 있는 곳에는 주의를 요한다. 외부전원법에 의한 전기방식에 사용하는 양극재

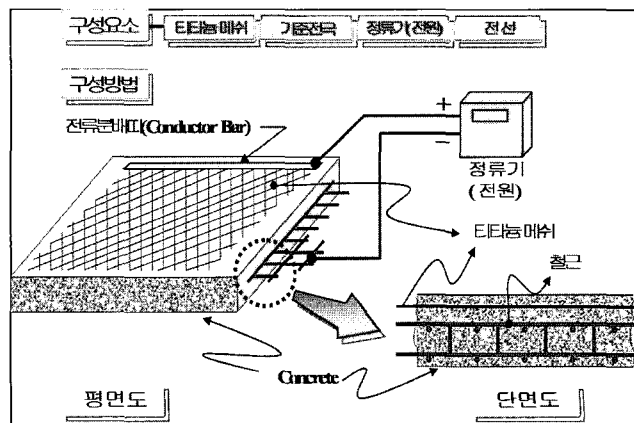


그림 5. 외부전원법(타타늄메쉬양극법)의 개념도

료는 주로 티타늄(Ti), 납(Pb), 백금(Pt), 은(Ag) 등이며, 이중 경제적인 측면과 양극재료의 수명을 고려하여 가장 많이 쓰이는 재료는 티타늄이다. 양극재의 종류와 형상에 따라 면(面)타입 양극(티타늄메쉬 양극, 판넬 양극, 도전성 도료, 티타늄 용사, 티타늄이연 용사, 도전성 모르타르 방식 등), 선(線)타입 양극(티타늄리본메쉬, 티타늄 그리드 방식 등), 점(點)타입 양극(티타늄로드 방식) 등이 있다.

3.2.2 보수공법으로서 전기방식공법 선정 원칙

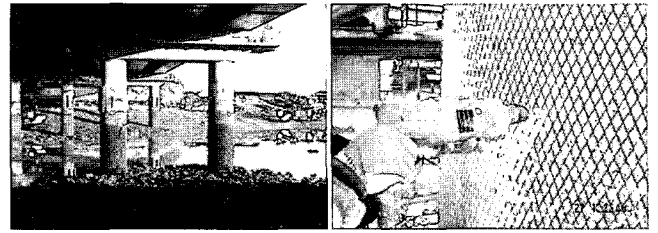
국내 해양교량의 보수공법으로서 전기방식공법을 선정할 경우, 시공 및 유지관리 용이성, 전기방식공법의 수명 및 교량 중요도 측면에서 적절한 전기방식 공법을 선정해야 한다.

희생양극법과 외부전원법은 각각의 현장상황에 맞게 적용할 수 있는데, 희생양극법은 외부전원이 필요없고 시공이 간편하므로 경제적이거나, 기전력이 제한되어 있고 출력 전류가 작아 적용범위가 다소 제한적이다. 이에 비해 외부전원법은 전류출력이 커 방식범위가 넓고, 출력 조절이 가능하다. 외부전원이 단락되었을 경우 미방식 상태가 되므로, 단락 여부를 체크해야 하는 등 지속적인 유지, 보수가 필요하다.

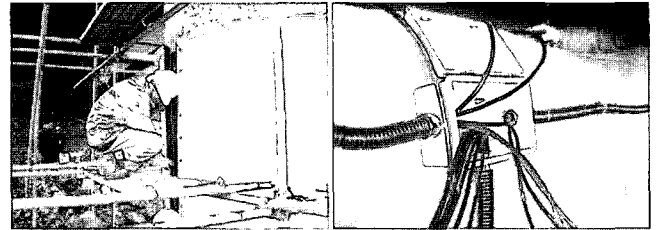
시공단가 측면의 경제성 측면과 유지관리 용이성 측면에서는 희생양극법이 외부전원법에 비해 유리하므로 신설시와 간만대를 제외한 부위의 보수시 적용한다면 유리하나, 간만대 부위 교각에 대한 보수공법으로서는 시공성 및 수명 측면에서 다소 불리하다. 한편, 슈트나 용사형태의 방법은 간만대처럼 건습 반복되는 부위에서 방식전류의 과다발생으로 양극재의 수명이 단축되므로 바람직하지 못하다고 알려져 있다.

외부전원방식에 의한 전기방식공법은 양극재 및 정류기 설치 등의 전기방식공사와 모르타르 피복 등의 부대공사로 된 시스템으로 구성되어, 현장여건에 맞는 적정 재료 및 시공법을 선정하는 것으로 되어 있다. 양극재의 재질은 티타늄을 사용하는 경우가 대부분이고, 설치형태로는 메쉬의 형태를 사용한 실적이 가장 많으며, 최근 들어 봉 타입과 신설 구조물에 선 타입의 리본메쉬 타입이 선을 보이고 있다. 외국에서는 교량 상부구조에 적용된 예가 많으므로, 양극재 피복시 숏크리트 공법이 가장 일반적이거나, 조수간만이 큰 간만대 부위의 경우에는 시공중 모르타르 유실 등의 우려가 있고 간만시 모르타르의 수분흡수로 인해 전기저항이 변하므로, FRP Jacket이나 강제 거푸집을 설치하여 수중 불분리성 모르타르를 주입시키는 공법을 사용하는 것이 좋다. <그림 6>은 국내 최초로 교각부위의 내염보수공법으로 전기방식공법을 적용한 소래교의 모습으로, 전기방식은 티타늄메쉬공법으로, 양극재 피복은 FRP 자켓을 이용한 주입모르타르로 시공하였다.

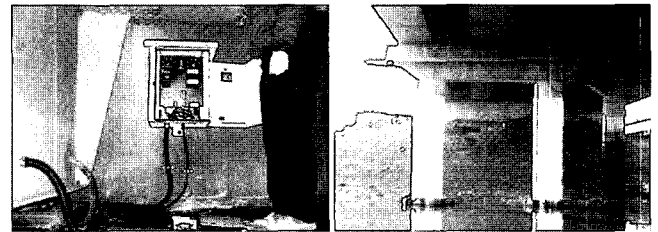
전기방식공법은 이미 기술적으로 외국에서 인정받아 많은 실적이 있는 내염공법이나, 정밀시공과 유지관리가 제대로 이루어지지 않는다면 그 유효성에 비해 경제적 손실이 커질 수 있으므로,



a. 내염보수공사 이전 전경 b. 양극재 설치



c. FRP제 거푸집 설치 d. 배선배관 설치



e. 정류기 설치 f. 내염보수공사 완성후 전경

그림 6. 소래교의 전기방식 공사 모습

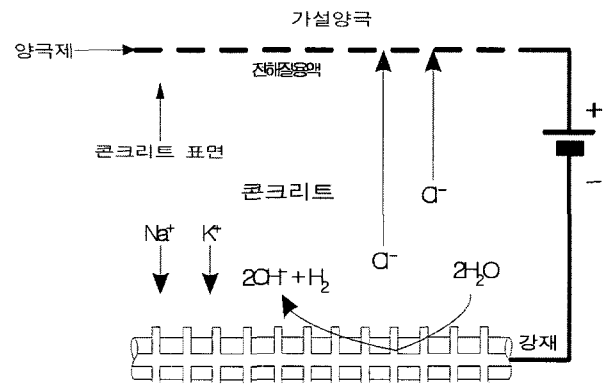


그림 7. 탈염공법 원리도

국내 해양환경 및 시공기술 수준 등을 감안하여 국내 실정에 적절하도록 많은 검토가 이루어져야 한다.

3.3 탈염공법

탈염공법은 콘크리트 구조물의 표면에 전해질 용액과 양극재로 구성되는 양극전극을 가설하여 콘크리트 중의 철근과 사이에 직류 전류를 일정기간 흘려주어, 전기적 영동(泳動)현상에 의해 콘크리트 중의 염소이온을 콘크리트 외부로 추출해내는 공법¹²⁾이다.

탈염공법에서는 전기방식공법과 달리 일정기간 동안만 콘크리

트 구조물의 표면에 양극전극이 되는 재료를 가설하여, 탈염처리 종료 후에는 가설시킨 재료를 모두 철거하여 성능저하 되기 전, 즉 염소이온이 침투되기 전 상태로 되돌리는 것이 원칙이다. 탈염처리 기간중에는 가설 양극과 콘크리트 중의 철근과의 사이에 직류전류를 흘려, 염소 이온을 콘크리트 내부에서부터 전해질 용액쪽으로 전기영동을 시킨다. 이렇게 함으로써, 콘크리트 내부의 염소이온 농도가 저하되어 철근에 대한 콘크리트 방식기능을 회복시키는 것이 가능해진다. 그 원리를 <그림 7>에 나타내었다. 표준적인 탈염공법은 알칼리성 전해질 용액을 이용해 콘크리트 표면적당 약 1A/m²으로 약 8주간 정도 직류전류를 흘려주는 것이 일반적이다. 탈염공법에서는 공법 적용후 염소이온의 재침투를 방지하기 위해 표면도장공법을 병용하여 적절한 유지관리를 행하는 것이 필요하다.

국내에서는 아직 적용된 예가 없고, 선진외국에서도 아직까지도 전기방식공법 만큼 일반화된 보수공법은 아니다. 그러나, 공법의 원리가 염소이온 침투 이전 상태로 되돌릴 수 있다는 것이 가장 매력적인 점이므로 향후 국내 실정에 맞는 염해 보수공법으로서 많은 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

4. 맺음말

콘크리트 구조물이 염해에 의해 손상을 입게 되면 손상이전 상태로 완전회복이 어려울 뿐만 아니라, 보수비용이 많이 들어 우리나라 뿐 아니라 외국에서도 큰 이슈가 되어 왔다. 최근 들어 내구성능을 고려하는 개념으로 설계, 시공, 유지관리에 관한 각종 시방 및 지침이 정비되고 있어, 염해에 의한 내구성능이 향상될 것으로 기대된다. 이러한 내구성능을 고려하는 개념은 많은 연구를 통해 축적된 데이터를 토대로 염해에 의한 성능저하를 예측하고, 목표내구수명을 만족할 수 있도록 설계, 시공, 유지관리를 행하도록 하는 것이다. 그렇기 위해서는 염해에 의한 성능저하 예측이 비교적 정확해야 하므로, 염해 내구성 관련 데이터의 축적과 정리가 무엇보다 중요하며, 설계에서 시공, 유지관리 뿐만 아니라, 구조물에 대한 발주자, 설계자, 시공자, 재료제공자

등 모든 분야에서의 정보 공유, 공동실험 등의 유기적인 협력이 무엇보다 필요할 것으로 사료된다.

또한, 내구성 설계가 도입된 이후 염해에 대한 내구수명이 계속 향상되고 있으나, 내구성 설계가 전혀 반영되지 않고 이미 해양환경에서 공용중인 구조물의 보수/보강에 대하여 사회적인 화제가 되는 것도 얼마 남지 않았으므로, 이에 대한 지속적인 연구 개발이 필요할 것이다. ■

참고문헌

1. 日本土木学会 콘크리트위원회, “鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向”, 日本土木学会, 1999.
2. 건설교통부, “염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계/시공/유지관리 지침”, 2003.
3. 일본토목학회, “콘크리트 표준시방서 시공편, 유지관리편”, 2002.
4. ISO TC71, SC4, “Performance Requirements For Structural Concrete”.
5. 岸谷孝一, 西沢紀昭, “塩害 (I), (II)”, 技報堂, 1986.
6. “飛來塩分量全国調査(III)”, 土木研究所資料, 日本建設省土木研究所 1988.
7. “飛來塩分量全国調査(IV)”, 土木研究所資料, 日本建設省土木研究所 1993.
8. 정해문, 안태송, 류종현, 안성순, “국내 해안의 비래염분량 조사결과”, 한국콘크리트학회 학술발표회논문집, Vol.15, No.2, 2003, pp.67~70.
9. 片脇 士, “最新のコンクリート防食と補修技術”, 山海堂, 2000.
10. National Cooperative Highway Research Program Synthesis 209, “Sealers for Portland Cement Concrete Highway Facilities,” Transportation Research Board, National Research Council, 1994.
11. 안태송, 정해문, 유환구, 오병환, “콘크리트 표면도장재료의 성능평가 및 품질기준에 관한 연구”, 한국도로공사 도로연구소 연구보고서, 2001.
12. “電気化学的 防蝕工法設計施工指針(案)”, 일본토목학회, 2001.

새로나온 책 - “콘크리트 표준시방서 해설”

◆ 소개 : “... 「콘크리트 표준시방서 해설」의 개정에는 1999년도 재정판을 근간으로 하였으며, 국내외 각종 시방서 및 규준 등을 참고하였습니다. 또한, 집필에는 콘크리트 관련 분야에 종사하고 있는 토목·건축 분야의 중진 기술자 및 연구자들이 참여하였으며, 수차의 토의와 여러 번의 공청회를 개최하여 특히, 현장 기술자들의 의견을 반영하였습니다. 초안에 대해서는 학회 자체의 자문회의를 거쳐 수정 보완하였으며, 콘크리트와 관련이 있는 기관 및 연구소 등에 검토를 요청하여 수용할 수 있는 부분은 최대한 반영함으로써 좋은 「콘크리트 표준시방서 해설」이 출간 될 수 있도록 정성을 다하였습니다. ...”(머리말 中)

- 제 목 : 콘크리트 표준시방서 해설
- 저 자 : 사단법인 한국콘크리트학회
- 출판일 : 2004년 2월
- 페이지 : 670쪽
- 출판사 : 기문당
- 정 가 : 35,000원