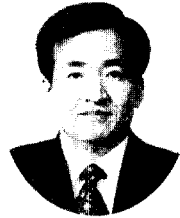


도포형방청재의 개요와 활용기술

Technology and Application of Impregnating Corrosion Inhibitor to Concrete Structures



김 무 한*



권 영 진**

1. 서 론

최근 국내에서는 건설 구조물의 대형화, 고층화와 더불어 정부의 주택 건설사업의 지속적인 추진 및 사회간접자본시설의 대폭 확충에 따라 건설공사의 기초소재인 골재의 수요량이 현저하게 증대되고 있으며 이에따라 양질의 하천골재는 구하기도 어려운 이른바 골재 부족현상이 국내에서도 현안과제로 대두되고 있다.¹⁾

골재는 콘크리트의 필수 재료이므로 콘크리트에서 골재가 차지하는 용적은 70~80%에 이르고 있으므로 골재 품질의 양부가 콘크리트의 품질에 미치는 영향은 절대적이다. 또한 경제적으로도 그 선택의 적부가 중요한 문제이므로 하천산 천연골재의 대체 자원

으로서 매우 필요한 상태라고 할 수 있다.

한편 신도시 건설현장에서 발생한 부실공사 사례에서 보는 바와 같이 최근 건설 구조물 시공에서는 시공 능률을 고려하여 콘크리트의 단위수량이 증가하는 경향으로 해사 특히, 제염을 하지 않은 해사를 사용한 콘크리트에 있어서 이러한 무분별한 단위수량의 증가는 균열의 발생, 철근의 발청 등과 같이 콘크리트의 품질을 더욱 악화시킴으로써 콘크리트의 내구성을 저하시키는 근본적인 원인이 되고 있다.

철근 콘크리트는 콘크리트가 갖고 있는 약점인 휨강도, 인장강도 등을 철근이 부담하고 있으며 양재료의 열팽창계수도 거의 같고, 부착력도 우수하며 또한 콘크리트는 pH12.5~13의 강알칼리성으로서 콘크리트 내부의 철근 표면은 부동태 피막으로 덮혀 있어

* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공박

** 정회원, 쌍용안전기술사업단, 쌍용엔지니어링(주) 진단·보수부문, 기술담당 공박

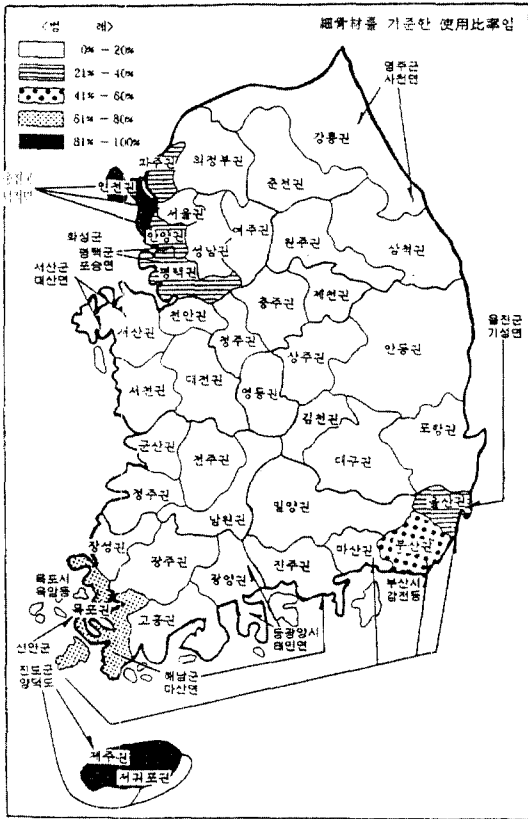


그림 1 해사의 소비 및 유통실태²⁾

표 1 세골재 종류별 소비실태²⁾

종류	년도	'89	'90	'91	'92	'93	'94
바다모래		8.9	15.9	16.6	22.3	25.6	35.7
강모래		81.0	76.1	75.2	66.0	63.8	54.9
기 타		10.1	8.0	8.2	11.7	10.6	9.4
합 계		100	100	100	100	100	100

발정으로부터 보호되고 있는 우수한 복합재료이다.

그러나 해사를 사용할 경우 철근의 약점을 콘크리트가 보호하지 못하게 되면 중대한 문제가 발생하는데 특히 재염을 하지 않은 해사의 사용은 콘크리트중의 염화물량을 급증시킴으로써 결국은 철근의 부동태 피막이 파괴되어 콘크리트 구조물의 열화현상 및 내구성 저하현상이 현저하게 나타날 우려가 높다.

이 문제에 대하여는 그동안 많은 논란이 되어 왔으

나 아직 충분히 해명되지 못한 점도 많은데 그 이유는 우선 철근 콘크리트 구조물이 다른 각종 구조물과 달리 장기간의 내구연환을 가지고 있으며 또한 일반적으로 부식문제의 접근이 콘크리트내부라고 하는 아주 미세한 부분을 대상으로 하지 않으면 안되고 또한 부식이 콘크리트내부에서 발생하므로 직접적인 관찰이 곤란하다는 것이다.

한편 콘크리트중의 철근의 부식은 이에 관계되는 요인이 매우 많다. 재료, 시공환경 중에도 많은 요인이 있고, 그외에 철근 피복두께도 영향을 미치며 수평철근, 수직철근인가에 따라서도 상당한 부식의 차이가 있다. 이 때문에 해사와 관련된 연구결과는 또 다른 연구결과와 연계시켜 종합적으로 평가하여 문제해결을 시도하는 것이 필요하다.

참고적으로 그림 1 및 표 1은 레미콘공업협회에서 전국의 레미콘 업체를 대상으로 1992년 11월에 실시한 권역별 골재소비행태 조사를 나타낸 것으로 바다모래의 사용비율이 매우 높은 것으로 나타나고 있다. 해사의 사용비율이 이처럼 높아진 이유는 근간 골재 수요의 폭주로 양질의 하천골재자원이 크게 감소되었기 때문인데 앞으로 하천골재의 공급량은 더욱 감소될 것으로 전망되고 있어 이러한 비하천 골재, 특히 해사의 이용량은 더욱 늘어날 것으로 전망된다.²⁾

본 고찰은 최근 활발히 진행되고 있는 구조물의 유지관리분야와 관련하여 신 개·보수재료 및 그 활용 기술을 소개하고 국내외의 사용현황 및 기준 등을 고찰함으로써 구조물의 진단 및 보수사업 관계자에게 염해등을 대상으로 한 내구성 향상을 위한 보수재료의 활용기술에 대한 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 염해를 입은 콘크리트 구조물의 보수방안

일반적으로 보강이라는 것은 철근콘크리트 구조물의 손상이 현저한 경우에 실시하는 것으로 보강에 이르기 이전에 반드시 보수가 행해져야 한다.¹⁾ 또한 보강을 필요로 하는 원인은 구조계획문제 이외에도 내구성문제에 기인하는 것이 상당한 것으로 평가되고 있다.

철근콘크리트 구조물의 염해는 재료중에 포함된 염화물 이온 또는 외부로부터 침투하는 염화물이온에 의해 철근이 부식됨으로써 나타나는 현상이다.

철근 콘크리트 구조물의 염해에 의한 열화과정은 제1기(잠복기), 제2기(진전기), 제3기(가속기) 및 제4기(열화기)의 4단계로 구분된다. 철근콘크리트 구조물의 염해를 대상으로 한 보수공법에 기본적으로 요구되는 성능은 염화물이온의 확산침투의 억제, 내재한 염화물 이온의 저감, 산소 및 수분의 확산침투의 억제이며, 철근 콘크리트 구조물에서의 열화과정의 어디에 있는가에 따라 요구성능이 상이하게 된다.

일반적으로 보수를 개시하는 경우에는 그림 2에 나타낸 바와 같이 철근 콘크리트 구조물의 잔존수명을 검토하여 열화상태별로 보수재료에 대한 요구성능을 정하여 표 2에 나타낸 방법에 준하여 보수가 행해져야 한다.¹⁴⁾

특히 잠복기 및 진전기에서 표면피복을 실시하는 경우에는 콘크리트 내부로부터 수분의 일산을 가능

하게 하는 재료를 선택하는등 보수시에 제거되지 않은 염화물 이온에 의해 보수후에 열화가 생기지 않도록 하는 배려가 필요하다.

3. 도포형방청재

3.1 개요

도포형방청재는 주로 염해로 발전될 가능성이 높은 철근 콘크리트 구조물의 표면에 도포하여 콘크리트의 내부로부터 철근의 부식을 억제하여 내구성을 개선하는 목적으로 사용되는 재료이다.

일반적인 보수방법은 열화요인에 관계없이 어떠한 요인에 의해서도 철근방식처리→단면복구→단면처리의 공정으로 실시되고 있으며 염해를 입은 콘크리트 구조물의 보수방법에 관해서는 다음과 같은 방법들을 들 수 있다.

- (1) 고염분을 함유한 콘크리트 부분을 철거한다.
- (2) 콘크리트중의 염분을 제거한다.
- (3) 콘크리트 표면에 방수층으로서 기능하는 도막재를 처리하고 철근의 부식요인인 산소, 물의 공급을 차단한다.
- (4) 염화물이온의 철근에 대한 발청작용을 억제하는 약제를 함침시킨다.
- (5) 전기방식을 응용한다.

여기에서 (1)의 방법은 현실적으로는 불가능한 경우가 많고, (2)는 시공기술, 처리방법 등에 문제점이 많기 때문에 일반적으로 보급되어 있지 않다. (5)는 해양환경의 토목구조물에서는 실시예가 있으나 건물에서는 콘크리트의 함유율에 통전성이 영향을 받기 때문에 적용이 어렵다. 따라서 현재는 (3)의 방법이 일반적으로 이용되고 있으나 이 방법도 콘크리트중에 수분을 밀봉시켜 버리며 더 나아가 내부에 존재하는 수분 및 산소의 양이 철근을 부식시키지 않는 양인지에 대한 판단기준이 명백하지 않고 역효과로 될 우려도 있으므로 근본적인 염해 보수 대책이라고는 할 수 없다.

따라서 (4)의 방법이 간편한 방법으로서 생각되어진 이유로 종래 철근콘크리트 구조물의 신설시에 콘크리트에 혼화하고 있던 방청재를 도포함침형으로 개량된 재료이다.

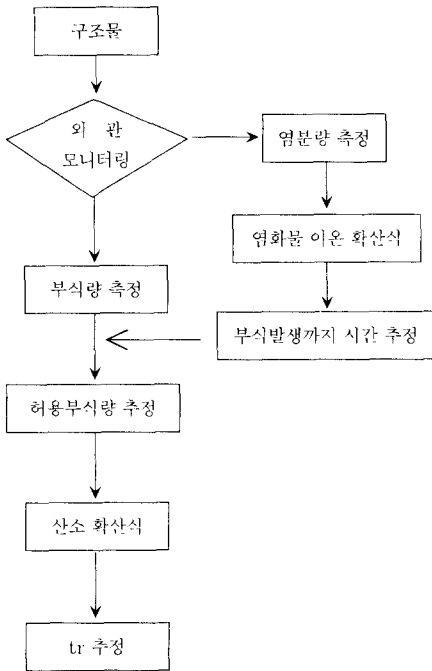


그림 2 잔존수명 산정수법의 일례

표 2 열화 상태별 보수 방안

	예 방	보 수
잠복기	Cl ⁻ 의 억제	—
진전기	—	Cl ⁻ 의 저감 O ₂ 의 억제
가속기 열화기	—	Cl ⁻ 의 저감 O ₂ 의 억제 (보 강)

신설시에 사용하는 철근콘크리트용 방청재는 해사 등 콘크리트재료중에 포함된 염분에 의한 철근의 부식방지조치로서 유효하다는 것이 확인되고 있고, 현재 JIS규격에도 제정되어 일본의 경우 해사사용지역에서는 1975년 이래 사용되고 있다.

또한 외부로부터 유입된 염분에 대해서도 이러한 종류의 고성능감수제를 미리 신설시에 혼화시켜둌므로 철근부식을 억제가능한 것이 여러 연구자들에 의해 확인되었다.¹⁾ 도포형 방청재는 이러한 효과를 도포하여 합침시킴으로써 그 효과를 발휘시키는 것이다.

3.2 도포형 방청재의 종류 및 조성

일반적으로 부식억제제(Corrosion Inhibitor)로서 아질산염, 크롬산염, 규산염, 에스테르 등이 있으나 콘크리트의 침투성, 반응성, 장기 안정성, 방청성 등을 고려하여 현재 도포형 부식 억제제로 시판되는 것은 주로 아질산염계이고, 이중에서도 아질산 칼륨계와 아질산 리튬계가 실용화되고 있다.

아질산염계의 방청재에는 이외에 아질산나트륨과 아질산칼륨이 있으나 이러한 것은 콘크리트의 알칼리골재반응등의 위험성이 있으므로 부적당하다고 판단된다.²⁾ 또한 기타의 부식억제제도 콘크리트에의 침투성, 반응성, 장기안정성, 방청성 등에 관하여 미해명된 부분이 많고 도포형방청재로서 실용화되어 있지 않다.

3.3 부식억제 메커니즘

3.3.1 염화물 존재하에서의 철근의 부식

콘크리트 중에서는 pH가 높다면 철근의 부식은 큰 폭으로 억제될 수 있으나 이 환경하에서도 염화물이 존재하게 되면 염화물에 의한 부동태피막이 파괴되거나 또는 부동태화가 방해를 받게 된다. 이러한 현상의 메커니즘에 대해서는 여러설³⁾⁴⁾이 있으나 열거하면 다음과 같다.

- 염소이온의 산화철피막으로서의 해고(解膠)작용
- 흡착에 의한 철이온의 용해작용
- 착체의 생성에 의한 연속반응의 진행
- 아노드반응에 대한 촉매작용

- 철과의 직접반응에 의한 중간생성물의 생성
- pH의 저하
- 전기전도도의 증대등

이와같은 염화물의 작용은 간접적이며 또한 촉매적인 것이라고 사료되는데 이 문제에 대하여는 아직 충분히 해명되어 있지 못한 점이 많으므로 지속적인 연구가 필요하다.

또한 콘크리트 중에서도 같이 부식환경이 불균일한 경우에는 상황에 따라서는 매크로셀이 구성된다. 이것은 일반의 부식에서 국부전지(마이크로셀)과는 상이하고 아노드 및 캐소드의 양전극의 거리가 큰 것이 특징이다. 특히 염분의 존재하에서는 아노드와 캐소드의 면적비가 적고 부식은 공식의 형태를 띠는 사례가 많다.

3.3.2 도포형 방청재의 부식억제기구

철근의 부식은 일종의 전기화학 반응이다. 즉, 아노드 반응 및 캐소드 반응으로 분류되나 이 반응들은 동시에 병행하여 진행된다. 따라서, 이 반응들을 억제 혹은 지연시키는 것이 방청기술의 포인트이다.⁵⁾

도포형방청재에 관해서는 그 부식억제의 기구는 충분히 해명되어 있지 못하여 아직 불명한 점이 많으나 시판품의 주성분으로 되어있는 아질산염의 경우에는 다음과 같은 메커니즘이 보고되어 있다.

즉, 아질산염중의 아질산이온(NO_2^-)과 제1철이온(Fe^{2+})이 반응함으로써 아노드부로부터 Fe^{2+} 의 이동이 저해되고 Fe_2O_3 로서 철근표면에 부동태 피막을 형성한다. 그 결과로서 부식반응이 억제되는 것으로 그 반응식은 다음과 같다.



NO_2^- 가 충분히 많은 경우에는 억제작용은 빨리 진행하고 Fe_2O_3 의 피막에 의해 아노드부를 폐쇄하고 NO_2^- 의 소비는 정지된다. 또한 별도의 보고⁶⁾에 의하면 NO_2^- 는 금속철(Fe), 제2철이온(Fe^{3+}) 및 산화제일철(Fe_2O_3)과는 반응을 하지 않고 산화제일철(FeO) 및 산화제일철이온(Fe^{2+})과만 반응하고 산화철소 및 철의 표면에 침착한 수산화제일철($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)을 생성하여 부식영역으로부터 Fe^{2+} 의 유실보다도 NO_2^- 에 의한 Fe^{2+} 의 산화가 빨라 그 결과

Fe⁺⁺의 산화를 통하여 아노드부로부터 Fe⁺⁺의 유실을 막을 수 있기 때문에 철 표면층의 부동태가 완성되게 된다고 한다.

따라서 도포형방청제는 이와 같은 효과를 발휘하기 위한 품질 요구성능으로서 철근 표면까지 침투하여야 하는 것과 유실 및 변질이 되지 않고 장기적으로 안정성이 요구된다.

3.4 특성 및 성능기준

도포형방청제에 관한 기준은 현재까지 KS등에 구체화되어 있지 않으나 다음의 성능이 체크 포인트가 된다.

(1) 침투성이 우수할 것 (재령 28일에 침투깊이

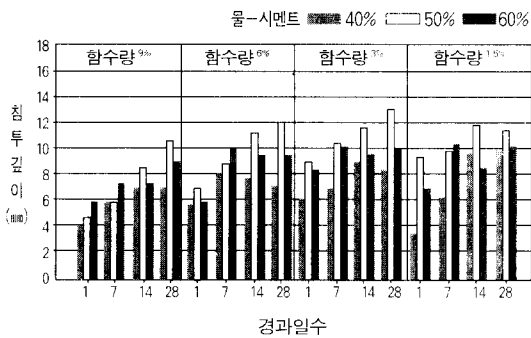


그림 3 콘크리트의 물시멘트비 및 함유율별 도포형방청제의 침투깊이*

10mm 이상일 것)

실험결과와 일례를 그림 3에 나타낸다. 이 결과에서는 도포형방청제는 하지 콘크리트의 물시멘트비 및 함유 상태에 따라 약간의 차는 있으나 도포후 28일에 깊이 10mm 정도까지 침투하고 있다. 아질산염계 도포형방청제의 침투성은 경과시간에 크게 의존하고 이온이 확산하는 성질이 크기 때문에 시간이 경과함에 따라 내부에 침투하여 간다는 것을 설명하여 주고 있다.

그림 4에 실구조물에서 행한 5년간의 침투성 확인 실험결과를 나타낸다. 이것에 의하면 초기에 표면에 있던 성분이 장기에 걸쳐 내부로 이동하여 가는 것을 알 수 있다.

(2) 방청효과가 우수할 것

방청효과에 관한 실험결과와 예들 그림 5 및 그림

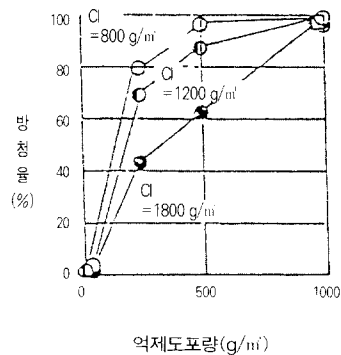


그림 5 도포형방청제의 도포량과 방청효과*

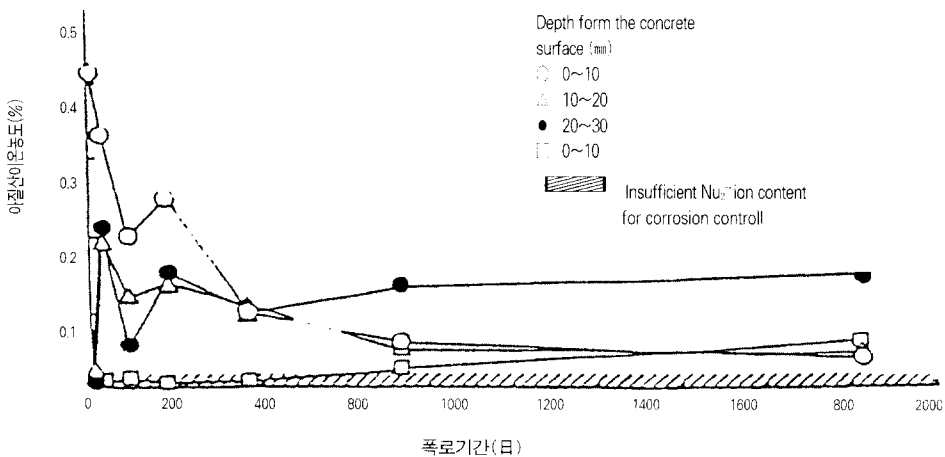


그림 4 실구조물하에서의 5년간 침투성 확인 실험결과*

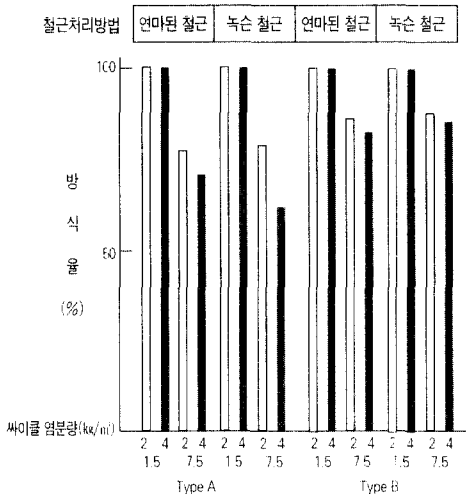


그림 6 도포형 방청제의 철근방식효과⁴⁾
 Type A 방청재만 사용
 Type B 알칼리성부여제 + 방청제 도포

6에 나타낸다. 그림 5에 의하면 도포형부식억제제의 필요 처리량은 염화물 이온의 함유량에 비례하여 증가하나 처리량이 적은 경우에도 처리량에 비례하여 효과가 발휘되는 것을 알 수 있다.

또한 그림 6에 의하면 알칼리성 부여제와 겸용하는 쪽이 방청제만 단독으로 사용하는 경우보다 방청 효과가 향상되는 것을 알 수 있다.

(3) 장기 안정성이 우수한 것

그림 6의 결과에는 도포 처리후 5년 경과하여도 그 유효 성분은 잔존하여 있고, 장기 안정성이 우수한 것을 알 수 있다. 한편 전술한 바와 같이 단독으로 도포형방청제를 사용한 것보다는 알칼리성부여제와 병용하는 것이 장기안정성이 우수하다는 것으로부터 가능한 한 양재료를 적절하게 병용하는 것이 중요 포인트가 될 것으로 판단된다.

3.5 사용방법

현재 시판되고 있는 도포형 부식억제제는 수용액계이고 기존도막제거, 정리, 청소 등의 소정의 콘크리트 하지처리를 행한 후 물러 등의 도장 기구를 사용하여 소요량에 달할 때까지 연속하여 도포한다. 또

한 특수 시공방법으로서 습포공법, 가압침투공법 등도 있다.

한편 도포후 통기성형 도장재료로 피복함으로써 통기성을 부여하는 것이 방청역할을 증대시킬 수 있는 중요사항이므로 이에 유념하여야 한다.

3.6 국외 및 국내 사용실적

일본의 경우 본 도포형 방청제는 해사 사용 콘크리트 아파트, 학교, 사무소 등의 건축물과 외래염분을 받기 쉬운 해양 토목 구조물에 광범위하게 사용되고 있다. 본 도포형방청제를 실구조물에 적용한 것은 일본의 경우에는 1976년 부터로 연간 약 1,000건 정도의 사용실적이 있는데 비하여 국내의 경우에는 아직 구조물의 내구수명확보에 대한 인식부족으로 거의 실적이 거의 전무하나 건축물의 경우에는 기보고된 사무소 건물²⁾과 토목 구조물의 경우에는 해안가의 사일로 구조물, 잔교³⁾ 등을 대상으로 시공실적을 축적하여 가고 있다.

그림 7은 S사무소 건물에 적용된 도포형방청제의 보수설계자료로서 사진 1은 도포형방청제를 도포하고 있는 상황을 보여주고 있다.

한편 도포형방청제의 재료 및 시공지침으로는 (사)일본공업기술진흥협회 도포형 방청제의 시공지침중 도포형방청제에 해당되는 부분을 간추려 소개하면 다음과 같다.

3.7 재료규준 및 시공지침

3.7.1 재료일반

- ① 도포형방청제는 도포함으로써 하지에 침투하여 그 표면층에 방청성의 환경을 부여하여 염해등에 의해 열화된 철근콘크리트 구조물의 부식환경을 개선한다.
- ② 도포형방청제는 종류에 따라서는 알칼리골재반응의 억제효과를 갖는 것으로 한다.
- ③ 도포형방청제는 아질산염등을 주원료로 한다.

3.7.2 시공시방

- (1) 바탕재
- ① 적용되는 바탕재는 염해열화 된 콘크리트 및 시

표준적인 시공공정

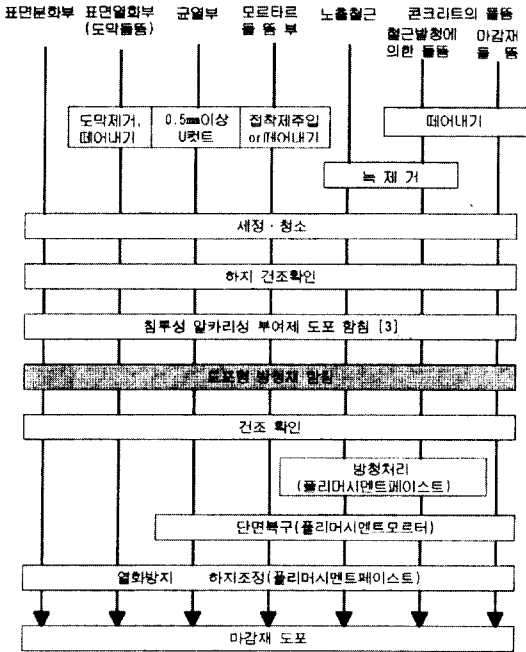


그림 7 국내에 적용된 도포형방청제의 보수설계 사례



사진 1 도포형방청제의 함침상황

멘트모르타르로 한다.

- ② 바탕재의 조건은 전술한 조항 3.2 및 3.3에 따르는 것으로 한다. (조항 3.2 및 3.3은 생략)
- ③ 바탕재의 건조상태는 특별히 한정하지는 않으나 소요량을 도포하기 위하여 어느정도 건조되어 있을 필요가 있고 물로 세정한 후 약 1일 정도의 건조기간을 취한다.

(2) 공정

① 전처리

들뜸부위, 철근부분의 철거작업, 균열부위의 U 커트, 열화도막, 취약부위 제거를 행하고 부착물을 고압수세정 등으로 세정한다.

② 건조

고압수세정후 1일 이상 건조시킨다.

③ 방청재의 도포

로러브리시등으로 도포한다.(또는 스프레이건으로 뿜칠한다.)

- 소요량 : 500~1500g/cm²(염화물이온 함유량에 따라 상위하다)
- 도포횟수 : 2~6회
- 도포간격 : 도포한후 건조되지 않은 상태에서 재도포한다.

다음의 공정까지의 공정기간은 1일 이상으로 한다.

④ 보호 짐 하지조정재의 처리

방청효과를 지속시킬 목적으로 도포형방청재를 도포한 면은 하지조정재(폴리머시멘트페이스트 또는 모르타르)로 처리한다.

(3) 공법

- ① 도포형방청제는 통상 원액 그대로 사용한다.
- ② 소요량은 하지의 염화물이온의 함유량에 따라 상이하므로 미리 염화물이온 함유량을 조사하여 소요량을 결정한다.
- ③ 도포형방청제는 알칼리성부어제와 겸용하면 방청효과가 증가하는 것으로 이 경우는 제조업자가 지정하는 방법에 준한다.
- ④ 도포형방청제는 직접 마감재에 접하게 되면 들뜸 및 변색을 유발할 우려가 있으므로 제조업자의 지시에 따른다.

4. 결언 및 향후의 전망

지금까지 염해대책이란 균열추종성이 있는 방수도막으로 처리하는 방법이 좋은 것으로 생각되어 실제로 많이 적용되어 왔다. 그러나 전술한 바와 같이 내부에 존재하는 수분 및 산소의 양이 철근을 부식시키지 않는 양인지에 대한 판단기준과 아울러 허용염분

치에 대한 판단기준이 불투명한 현상에서는 오히려 역효과로 될 우려가 있으므로 근본적인 염해 보수 대책이라고는 할 수 없다.

따라서 철근에 대한 발청작용을 억제하는 약제를 함침시키는 기술인 도포형방청재의 활용기술은 세척되지 않은 해사사용과 저품질 콘크리트의 사용으로 인하여 염해를 입을 가능성이 높은 일부의 신도시 아파트와 항만 구조물 및 노후한 콘크리트 구조물에 대한 명쾌한 해결책이 제시되어 있지 않은 현실점에서 구조물의 내구성 향상 및 더 나아가 예방이라는 차원에서 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며 이에 대한 정확한 활용기술의 적립이 시급히 요망된다.

참고 문헌

1. 김무한 외, 신재 건축재료학, 문운당, pp.458-460
2. 김무한 외, 해사를 사용한 콘크리트의 염해 및 방청대책, 한국레미콘 공업협회, 1993
3. 권영진외, 침투성알칼리성부여재의 개요와 활용기술,

콘크리트학회지 제8권 5호, 1996.10, pp.52-60.

4. 伊部 博外, 鐵筋コンクリート構造物の劣化對策技術, テクノシステム, 1995
5. Lundquist J.T., et al, Calsium Nitrite as an inhibitor of Rebar Corrothion in Chloride Containing Concrete , Materials Performance 5, 1979, pp. 36-40
6. 권영진외, 해사사용으로 인한 콘크리트 구조물의 성능저하에 대한 무기질계 보수공법의 활용기술, 레미콘, 1996.1, PP. 48-59
7. 권영진외, 내구성향상을 고려한 철근콘크리트 구조물의 보수기술, 콘크리트 구조물의 보수·보강기술세미나 발표집, 구조보강 연구회, pp.31-69
8. 권영진외, 중성화 및 염해를 입은 콘크리트 구조물의 보수시공기술, 한국콘크리트 학회 춘계학술발표대회 논문집, 1996
9. 岸谷孝一外, 鹽害(Ⅰ), 콘크리트構造物の耐久性シリーズ, 技報堂出版, 1986. 