기술기사

침투성 알카리성부여재의 개요와 활용기술

Technology and Application of Impregnating Alkalization Agent to Concrete Structures

김 무 한*　　권 영 진**

1. 개 요

표 1은 각종 개·보수공사에 사용되는 개·보수 재료의 종류를 나타낸 것으로 이중 도포함침재는 방수성을 개선시키고 취약화된 콘크리트의 표면을 강화시키거나 철근의 부식환경을 개선시키는 등의 목적으로 콘크리트의 표면에 도포하여 함침시키는 재료를 말하는 것으로 그 목적에 따라 다음과 같이 재분류된다.

① 방수성을 부여하여 열화 방지를 도모하는 것 : 침투성 흡수방지재
② 중성화된 콘크리트에 알칼리성을 부여하여 철근을 보호하는 것 : 침투성 알칼리성 부여재
③ 취약한 콘크리트의 표면층을 강화시키는 것 : 침투성고화재
④ 염화물함유 콘크리트의 철근 부식 환경을 개선시키는 것 : 도포형 방청재

이들중 ②의 침투성 알칼리 부여재는 일반적으로 중성화에 의해 열화된 철근콘크리트 구조물의 보수시 콘크리트 표면에 침투도포시켜 알칼리성을 회복시키고, 철근의 부식환경을 개선하는 목적으로 사용되는 재료이다.

일반적으로 콘크리트중의 철근은 시멘트가 수화할시 부산되는 다량의 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)이 갖는 고알칼리성(pH 〉 12)으로 인해 부식으로부터 보호되고 있다.

그러나 이 알칼리성은 영구적인 것은 아니고, 대기중의 탄산가스(CO_2) 및 배기가스 중의 산성가스

* 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공박
** 정회원, 쌍용양회 안전기술사업단 보수사업팀 과장, 공박

(S_{0x}, N_{0x}) 또는 산성비 등에 의해 순차적으로 중성화 되고 pH가 저하된다. 중성화 깊이가 콘크리트의 피복두께를 넘어 철근 위치에 달하게 되면 철근은 부식되기 시작하고 이 부식에 의한 팽창압으로 피복 콘크리트는 균열로 발달되고 박락된다.

특히 최근에는 대기중 탄산가스의 증가 및 산성비의 영향을 받아 중성화의 진행이 매우 빠른 것으로 보고되고 있다[1]. 또한 이것과는 별도로 콘크리트의 펌프타설의 보급과 양질골재의 고갈 및 그것에 따른 단위수량의 증가 등 콘크리트 자체의 품질저하, 거푸집 정도의 향상과 노출 콘크리트의 보급 등에 따른 피복두께부족등 시공상의 문제도 결부되어 콘크리트의 중성화 및 철근의 부식이 예상외로 빨라지고 있다.

한편 철근부식에 의해 열화된 콘크리트 구조물의 보수기술은 진부하지만 새로운 과제로 부각되고 있으며, 일반적으로는 미장재료 등을 사용하여 보수가 행해지고 있으나, 보수 후 2, 3년에 또다시 문제를 일으키는 사례가 많았기 때문에 일본의 경우 1975년부터 시스템화된 보수공법[2]이 보급되게 되었다. 이 시스템화된 보수공법에 사용되는 재료중의 하나가 침투성 알칼리부여재이고 종래의 보수공법에서는 없었던 기존 콘크리트의 내부로부터 철근 부식방지를 주 목적으로 사용되는 재료이다.

본 고찰은 최근 활발히 진행되고 있는 구조물의 유지관리분야와 관련하여 신 개·보수재료 및 그 활용기술을 소개하고 국내외의 사용현황 및 규준 등을 고찰함으로써 구조물의 진단 및 보수사업 관계자에게 하나의 유익한 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 침투성 알칼리 부여재

2.1 종류 및 조성

현재 시판되고 있는 침투성 알칼리부여재는 그 성분이 발표되고 있는 것으로서 규산리튬(Li_2SiO_3)의 수용액을 들 수 있다. 규산리튬 이외의 규산나트

표 1 보수 재료의 종류

종 류	종 별	조 성
도포함침재	침투성 흡수 방지재	실리콘계, 실란계, 아크릴계, 변성폴리에스테르 수지계통
	침투성 고화재	무기계 : 규산염계, 콜로이드 실라카계 유기계 : 에폭시 수지계, 아크릴수지계, 우레탄수지계, 폴리에스텔수지계
	무기질 침투성 방수재	[시멘트 규산소다, 수용성실리카, 알루미나, 산화칼슘 등의 혼합물]+[물] 또는 [폴리마 디스퍼전]
	침투성알칼리성부여재	규산리튬계 등
	도포형 방청재	아질산칼슘계, 아질산리튬계
철근방청 처리재	폴리마시멘트계 도재	SBR계, 아크릴수지계, 방청재첨가계 등
	합성수지계 도재	에폭시계, 아클리계, 우레탄계 등 수지프라이머 또는 도료
단면복구재 (패칭재)	폴리마시멘트모르터	SBR계, 아크릴수지계, 방청재첨가 등의 폴리마시멘트모르터
	폴리마모르터	에폭시 수지모르터(경량골재를 사용한 것이 많음)
	시멘트모르터 혹은 콘크리트	시멘트, 골재, 콘크리트용 화학혼화제 등을 사용한 보통시멘트 모르터 혹은 콘크리트
균열, 틈뜸 주입재	에폭시 수지 주입재	주입용에폭시 수지, 주입용가소성 에폭시수지
	시멘트슬러리 주입재	폴리마시멘트 슬러리, 초미립 슬래그시멘트 등
	실링재	실리콘계, 우레탄계
바탕조정 및 보호재	폴리마 시멘트모르터	SBR계, 아크릴수지계, 방청재 첨가계 등의 폴리마시멘트모르터
	폴리마 모르터	에폭시 수지모르터 등 퍼티재
콘크리트 표면피복재	침투성 흡수 방지재	실리콘계, 실란계, 아크릴계, 변성 폴리에스텔수지계 등
	도 료	아크릴수지계, 아크릴우레탄수지계, 아크릴실리콘수지계, 불소수지계 등 도료
	건축용 마감도재	시멘트계, 폴리마시멘트계, 규산질계, 합성수지에멀젼계, 합성수지 용제계, 두께바름용마감도재, 복층마감도재 등
	도막방수재	아크릴고무계, 우레탄계 지붕 및 외벽도막방수재
	성 형 품	알루미늄 등의 금속, GRC 등의 피부판넬(2중 벽용) 폴리마에시멘트모르터 및 폴리마 함침 콘크리트제의 영구거푸집 등

륨, 규산칼륨, 규산암모니움 등의 규산염도, 알칼리성 부여효과는 있으나 규산리튬에 비하여 침투성, 건조고화 후의 내수성, 탄산화 등에 문제가 있고, 현재로서는 실용화되어 있지 않다.

또한 실험적인 알칼리성 부여방법으로는 수산화나트륨, 수산화칼륨, 수산화리튬, 수산화칼슘 등의 알칼리성의 수용액을 콘크리트에 도포하는 방법이 있으나 실제로 도포하여 확인한 경우 이러한 약제는 도포 직후에는 알칼리성을 부여하나 1~2일 경과하게 되면 쉽게 탄산화되어 알칼리성을 소실하므로 실용성이 없다. 이러한 결과와 비교하면 규산리튬의 알칼리성은 고화되면 난용성으로 되므로 비교적 안정되어 있다고 말할 수 있다.

2.2 작용 매카니즘

침투성 알칼리성 부여재의 작용매카니즘에 관련하여 철근의 부식기구 및 콘크리트의 중성화 기구에 관하여 서술하면 다음과 같다.

2.2.1 철근의 부식

콘크리트는 강알칼리성(pH=12.4~13.0)이고, 그 중에 매입된 철근의 표면은 엷은 부동태 막으로 둘러싸여져 있기 때문에 부식으로부터 보호되고 있다. 이때 생성되는 피막은 20~30Å 두께의 수산화제2철(γ-$Fe_2O_3nH_2O$)로 구성되는 극히 엷은 것이다. 그러나 콘크리트 중에 일정량 이상의 염분이 존재하게 되면 염화물 이온(Cl^-)의 작용에 의해 부동태 피막이 파괴되어 부식되기 쉬운 상태로 된다. 또한 콘크리트가 중성화 되면 부식의 진행은 가속화된다.

콘크리트중의 철근이 부식하게 되면 그 체적은 약 2.5배로 팽창하고 그 팽창압에 의해 콘크리트에 균열이 발생한다. 균열이 나타나게 되면 산소 및 물의 공급이 용이하게 되어 철근의 부식이 촉진되고 피복 콘크리트가 박락되어 구조물은 현저하게 열화된다.

물의 존재하에서 철의 부식은 전기화학 반응에 의한 것이다. 철의 표면에는 전술한대로 안정된 산화피복이 존재하나 이 피막은 결함부분이 많기 때문에 그 부분의 물 존재하에서 국부전지를 형성하고 다음의 반응에 의하여 부식발생을 촉진한다.

아노드부(결함부분)

$Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e$

$Fe^{++} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$

$Fe(OH)_2 + 1/2\ H_2O + 1/4O_2 \rightarrow Fe(OH)_3$(붉은 녹)

캐소드 부 (안정부분)

$1/2O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

이것을 도시하면 그림 1과 같고 또한 철근의 부식 상황을 도해하면 그림 2와 같이 된다.

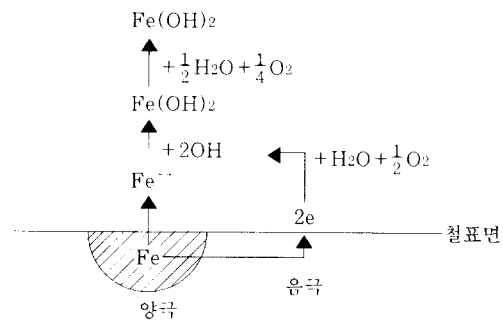


그림 1 철근부식의 반응기구

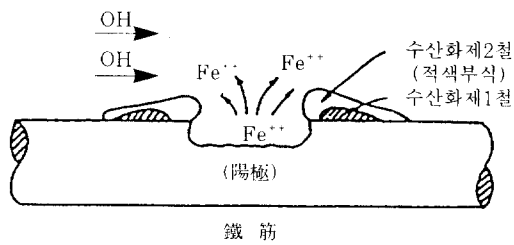


그림 2 철근의 발청

철의 부식은 pH와의 관계가 크고 이것을 도시한 것이 그림 3이다. 콘크리트 중에는 pH가 12.4~13의 영역으로 안정상태에 있다고 말할 수 있으나 중성화(PH가 10 이하)됨으로써 부식속도가 빠르게 된다.

수산화칼슘용액의 pH와 철강의 부식관계에 대해서는 그림 3 및 그림 4와 표 2의 연구가 있으며 이들에 의하면 pH 10에서는 상당히 활발히 부식되나 pH 12 이상으로 되면 거의 부식되지 않는다. 이것은 pH≥12이면 철강이 완전히 부동태역에 있고, pH≤10이면 중성화에 의하여 부동태역에서 활성

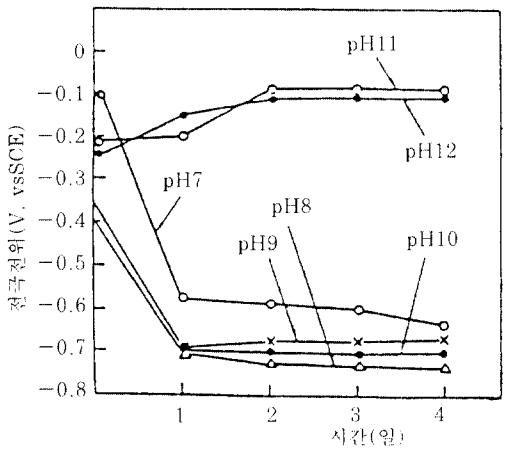


그림 3 철근의 자연전위와 pH의 관계

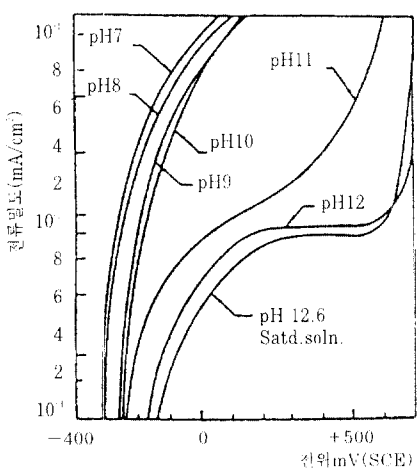


그림 4
양극분극과
pH의 관계

표 2 pH가 다른 수산화칼슘 용액중의 철부식량

용액 pH	3개월 침지후의 부식량 %W	
	밀 폐	개 방
10.0	0.74	2.46
10.5	0.81	2.20
11.0	0.30	2.00
11.5	0.10	1.80
12.0	0.02	0.02
12.5	0.02	0.01

역으로 변하기 때문이다.

2.2.2 콘크리트의 중성화[3]

콘크리트 중에는 시멘트의 수화반응에 의해 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)이 다량으로 발생한다.

$$[3CaOSiO_2 \text{ 및 } 2CaOSiO_2] + 5H_2O \rightarrow 3CaO_2SiO_23H_2O + 2Ca(OH)_2$$

(아리트) (베리트) (물) → (토버모라이트) (수산화칼슘)

이 수산화칼슘에 의해 콘크리트는 고알칼리성을 띠고 철근을 보호하고 있다. 그러나 이 알칼리성은 언제까지나 안정된 상태가 아니라 다음과 같이 공기중의 탄산가스와 반응하여 서서히 중성화된다.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

[알칼리성] [산성] → [중 성]

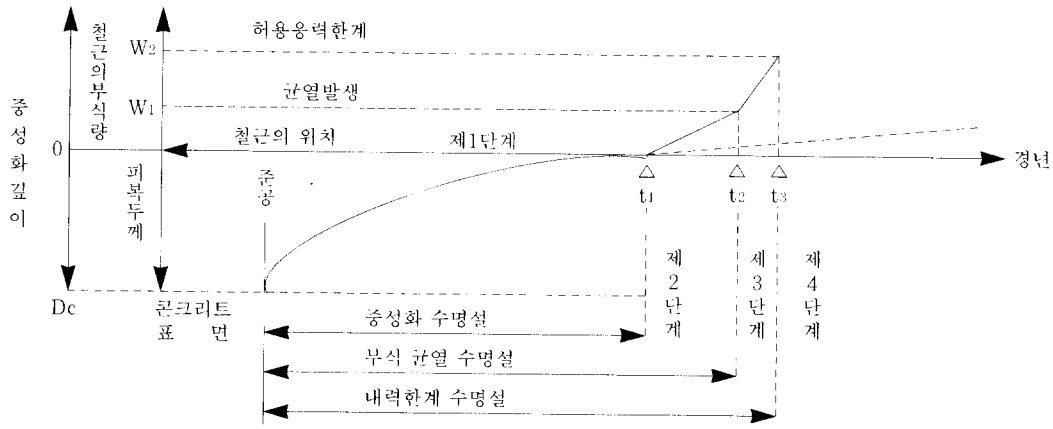
일반적으로 중성화 깊이는 경과연수와 비례하고 다음 식과 같은 관계식으로 진행한다.

$$t = 7.2X^2 \text{ (또는 } X = 0.37\sqrt{t}\text{)}$$

중성화로 부터 철근콘크리트 구조물의 수명을 고려할 경우 그림 5에 나타내는 중성화 수명설을 들 수 있다. 그러나 중성화 수명설은 너무 안전측이고 내하력한계 수명설은 너무 위험측에 속하므로 t_2의 시점을 수명으로 하는 것이 가장 합리적이라고 평가되고 있다. 그러나 부재 혹은 구조물의 수준을 생각하게 되면 철근의 수는 대단히 많고 환경조건에 의해 t_1으로 부터 t_2에 달할 때 까지 시간이 달라지고 있기 때문에 환경조건 및 부재 중요도별로 나누어 통계적인 개념을 설정한 정량적인 판단이 필요할 것으로 판단된다.

和泉[4]은 환경조건, 부재, 철근의 종류별로 t_2에 달하고 있는 비율에 의해 수명을 정량적으로 정의하는 방법을 제안하였다. 이 방법에 관하여서는 추후 소개하는 것으로 한다.

또한 중성화는 공기중의 탄산가스의 농도에도 크게 영향을 받는 것으로 보고되고 있으며 그림 6에



Dc : 피복두께　　W_1 : 콘크리트 균열시의 철근의 부식량　　W_2 : 허용내력 한계시의 철근의 부식량

그림 5　중성화와 내구성의 관계

나타내는 바와 같이 세계적으로 대기중의 탄산가스 농도의 증가현상이 콘크리트 구조물의 중성화 촉진 요인으로서 문제시 되고 있다. 한편 국내의 경우 해사의 사용으로 인한 염해 문제가 사회적인 문제로 대두되고 있는 가운데 공기중의 염분분포 또한 염해를 일으키는 중요한 인자가 되고 있으며 이에 따른 국내 전국 주요도시의 공기중 평균염분량이 보고[5]되어 콘크리트 구조물의 내구성 연구에 귀중한 자료가 되고 있다.

2.2.3 침투성 알칼리성 부여재의 작용기구[2]

침투성 알칼리성 부여재로 대표되는 규산리튬의 수용액은 화학식 Li_2OxSiO_2aq로 나타내고, 그 구조는 그림 8과 같이 폴리실리케이트의 형태이다. 폴리실리케이트는 입경이 이온보다는 크나 콜로이드 보다는 훨씬 작은 2~20mμ 정도로 또한 점도도 5cp 정도로 낮기 때문에 콘크리트 및 모르타르에 침투되기 쉽다. 또한 그 알칼리성은 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 수산기에 의한 것으로 pH 〉 11.5를 나타내고 있다.

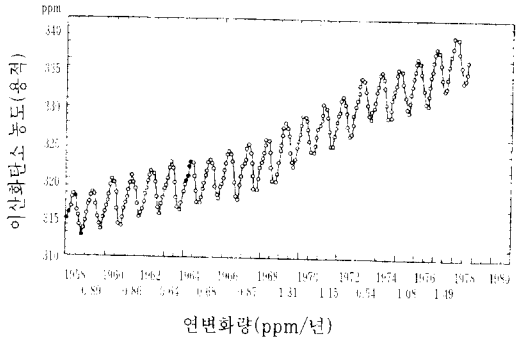


그림 6　대기중 탄산가스의 증가경향

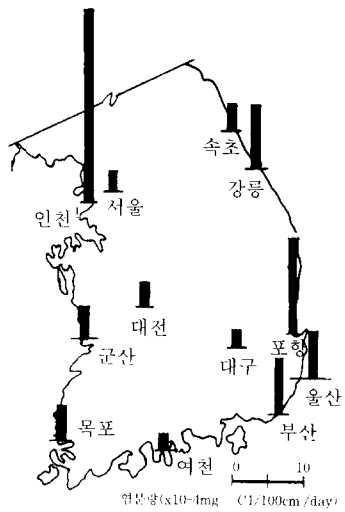
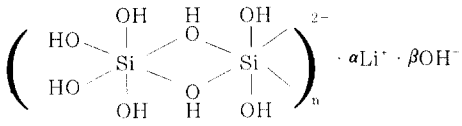


그림 7　전국 주요지역에서의 공기중 평균 염분량



n : 수십~수백

그림 8 규산리튬의 화화식

2.3 특 성

침투성 알칼리성 부여재에 요구되는 성능은 침투성이 우수하고 알칼리성 회복효과가 있으며 내구성이 요구되나 규산리튬계의 경우는 내구성에 관련하여 성능저하된 기존 콘크리트의 강화작용도 병행되고 있다. 이것은 규산리튬수용액의 건조고형물이 극히 견고하고 내수적으로도 안정성이 있기 때문에 그림 9에 나타낸 바와 같이 다른 폴리실리케이트 수용액(규산나트륨)과는 달리 물에 대하여 난용성이고 그림 10에 나타낸 바와 같이 흡습성이 적은 것에 기인하고 있다.

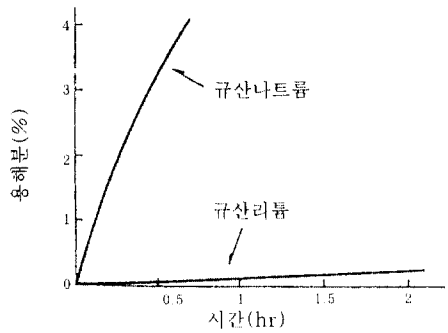


그림 9 건조 고형물의 용해도

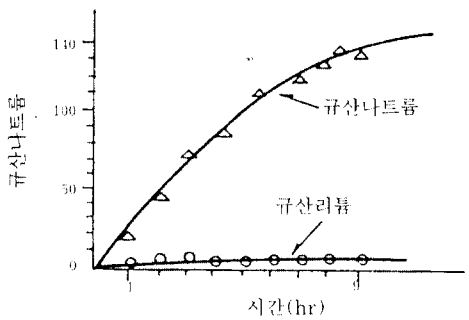


그림 10 건조고형분말의 흡습율

표 3 침투성알칼리성 부여재의 알칼리 회복효과의 일례

시 험 체	침투성알칼리성부여재 도포전의 pH	침투성알칼리성부여재 도포후의 pH
1 : 3 모르터	8.7	11.3
1 : 2 모르터	9.4	11.4
콘크리트 시험체	8.0	10.9
콘크리트 시험체	8.8	11.2

표 4 침투성알칼리부여재의 표면강화 작용의 일례

바탕처리	인 장 강 도(kgf/cm²)						변동계수(%)
	실 측 치					평균치	128.6
무처리	0.8	3.9	11.1	1.5	0.3	3.5	34.4
침투성알칼리성부여재	8.9	11.6	6.0	12.6	6.0	9.0	37.0
와이어브러싱 + 침투성알칼리성부여재	24.8	22.7	18.6	19.4	16.1	20.3	16.7

규산리튬수용액의 침투성, 알칼리성 회복효과, 소지강화작용 등에 관하여 보고된 측정결과의 일례 [2]를 소개하면 다음과 같다.

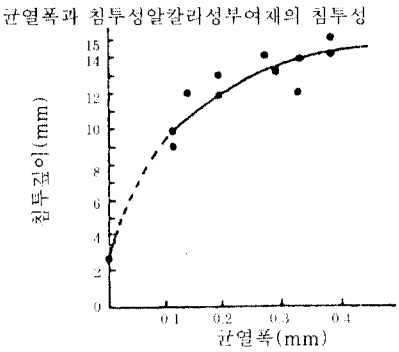


그림 11 침투성알칼리부여재의 침투깊이

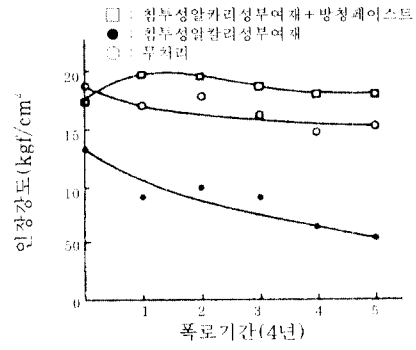


그림 12 침투성알칼리성부여재의 표면강화 효과의 지속성 일례

2.4 사용 방법

현재 시판되고 있는 침투성 알칼리성 부여재는 수용액계이고 철거, 계량, 세정 등의 소정의 콘크리트 하지 작업을 행한 후 롤러 등의 도장도구를 사용하여 필요량에 달할 때까지 도포시키는 것이 일반적인 작업방법이다. 이외에도 특수한 시공방법으로서 가압 합침공법 및 팩시트를 사용한 공법 등도 활용되고 있다[6]. 한편 침투성 알칼리성 부여재는 특수약제로서 유리 등에 부착되면 완전히 일체화되어 제거할 수 없기 때문에 타구조물에 손상을 주지 않도록 사용시에는 취급상의 주의사항에 충분히 유의하여야 하며 충분한 보양을 실시하여야 한다.

2.5 국외 및 국내 사용실적

일본의 경우 침투성 알칼리성 부여재는 중성화 및 염해 등 장기적인 내구성 부족에 의한 철근 콘크리트 구조물의 개·보수공사에 적용되고 있으며 주로 학교, 관공서, 사무소, 아파트 단지 및 체육관 등의 건축물과 교량 및 터널 등의 토목물에도 폭넓게 사용되고 있다. 침투성 알칼리성 부여재의 실구조물에의 적용은 일본에서는 1976년 부터이고 연간 약 1000건 정도의 사용실적이 있는데 비하여, 국내의 경우는 내구성에 관한 인식부족으로 인하여 중성화 방지를 위하여 시공한 사무소 건물에 적용한 사례 이외의 그 사용실례를 찾아보기 힘든 상황이다.

그림 13은 S사무소 건물에 적용된 침투성 알칼리성 부여재에 위한 보수설계 사례로서 사진 1은 침투성 알칼리성 부여재를 도포하고 있는 상황이다[7].

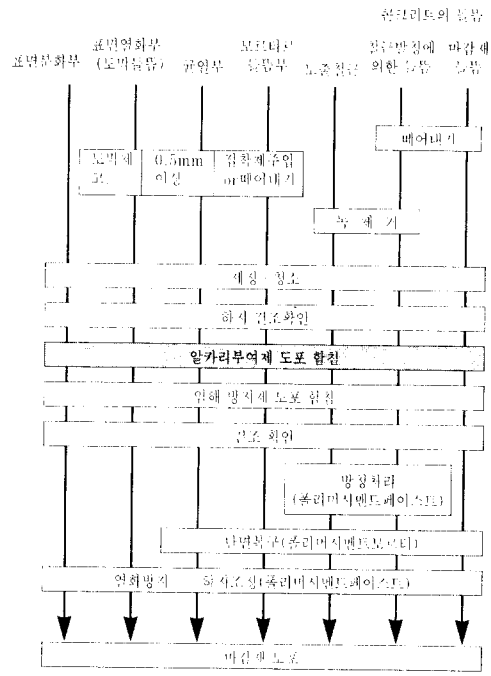


그림 13 국내에 적용된 보수설계 사례

사진 1 침투성 알칼리성 부여재의 도포상황

2.6. 재료 규준 및 시공지침

2.6.1 재료 규준

침투성 알칼리성 부여재의 규격 규준은 국내의 경우, 현재까지 정식으로 제정된 것은 없으나 일본의 경우 1986년도 6월에 발행된 건설성의 총합기술개발 프로젝트의 성과 자료 「철근 콘크리트조 건축물의 내구성 향상기술」[8]의 중성화 보수기술중에 알칼리용액의 함침 및 알칼리성의 회복이라는 표현으로 침투성 알칼리성 부여재의 활용이 부각되고 있다. 또한 이 자료중에는 도포함침재의 품질시험방법이 제안되고 있다.

2.6.2 시공 지침

침투형 알칼리성 부여재의 재료 및 시공지침으로는 (사)일본공업기술 진흥협회 도포 함침재 시공지

침의 내용중 침투성 알칼리성 부여재에 해당되는 부분을 간추려 소개하면 다음과 같다.

1) 재료일반

침투성 알칼리성 부여재

① 침투성 알칼리성 부여재는 도포시킴으로써 바탕재에 침투하고 그 표면층에 알칼리성을 부여해줌으로써 중성화등에 의해 열화된 철근콘크리트 구조물의 철근의 부식환경을 개선한다.

② 침투성 알칼리성 부여재는 그 종류에 따라서는 취약화된 하지에 관해서 표면강화작용을 갖는 것도 있다.

③ 침투성 알칼리성 부여재는 규산염등을 주원료로 한다.

2) 시공 시방

침투성알칼리성 부여재

(1) 바탕재

① 적용하는 바탕재는 중성화로 성능저하된 콘크리트 및 시멘트 모르타르로 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 한정하지 않으나 소요량을 도포하기 위하여 어느정도 건조되어 있을 필요가 있고, 물로 세정한 후 약 1일 정도의 건조기간을 취한다.

(2) 공정

① 전처리

들뜸부, 부식된 철근부의 제거, 균열부의 U커트, 열화도막, 취약하지의 제거를 행하고 부착물의 고압수 세정 등을 행한다.

② 건조

고압수 세정후 1일 이상 건조시킨다.

③ 침투성알칼리성부여재의 도포

④ 보호 겸 하지 도상재의 처리

알칼리성 부여의 효과를 지속시키는 목적으로 그 위에 침하는 마감재(특히 유기질계)의 알칼리에 의한 열화를 방지하는 목적으로 침투성 알칼리를 도포한 면은 제조업자가 지정하는 바탕 조정재(폴리머시멘트페이스트 또는 모르타)로 처리한다.

(3) 공법

① 침투성 알칼리성 부여재는 통상 원액체로 사용한다.

② 소요량은 바탕재의 열화상태에 따라 다르므로 미리 적은 면적으로 시험시공을 행하여 결정한다. 과잉도포는 표면에 잉상물이 석출하고 다음 공정의 재료에 접착불량을 일으킬 원인이 되므로 주의가 필요하다.

③ 유리질의 재료는 특히 접착되기 쉽고, 잘 떨어지지 않으므로 샤시 등의 양생에는 특히 주의할 필요가 있다.

3. 결언 및 앞으로의 전망

침투성 알칼리성 부여재는 전술한 바와 같이 일본에서 1975년에 개발되어 1985년까지 10년간에 사용량이 대폭 증가한 재료이다. 일본에서 짧은 기간에 사용량이 대폭 증가된 그 배경에는 1955년 후반으로부터 시작된 급속한 경제발전과 동경 올림픽을 전후한 건설 물량이 폭주한 시기에 지어진 많은 콘크리트 구조물이 10~15년 경과되어 개·보수가 필요하게 된 시기와 일치하고 있다. 이것은 「콘크리트 크라이시스」 등의 매스컴의 홍보에 의해 콘크리트의 성능저하가 사회문제로 대두된 것에도 기인하고 있다.

70년대 이후 급속한 경제개발을 이룩한 우리나라의 경우, 서울올림픽 대회와 아울러 주택문제해결을 위한 분당, 일산, 평촌, 산본 등 신도시의 200만호 아파트 건설사업과 고속전철, 신공항 건설 등의 대량건설사업이 진행되는 가운데 삼풍백화점 및 성수대교 붕괴를 기점으로 기존 구조물의 유지관리에 여러 문제점들이 노출되기 시작하였다. 삼풍백화점의 붕괴 사고가 있은지 1년밖에 지나지 않은 현재도 연일 신문지상에서는 「안전 불감증」이라는 단어가 시민들에게 건설산업에 대한 불신과 불안을 야기시키고 있다. 더나아가 세척되지 않은 해사 사용과 저품질 콘크리트의 사용으로 인하여 염해를 입을 가능성이 높은 일부의 신도시아파트와 항만구조물 및 노후화된 콘크리트 구조물들에 관한 명쾌한 해결책이 제시되고 있지 않은 시점에서 본 침투성 알칼리성 부여재의 활용은 구조물의 내구성 향상이라는 차원에서 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며

이에 대한 정확한 활용기술의 정립이 시급히 요망된다고 볼 수 있다.

앞으로 많은 콘크리트 연구자와 유지관리 담당 기술진들이 내구성 향상에 관한 모색을 위하여 신재료 및 기술에 관한 품질평가와 적극적인 활용대책을 시급히 마련해야 할 시점이라고 생각된다.

특히 신설되는 콘크리트 구조물에도 내구성 설계에 관하여 적극 수용하여야 할 시점이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김무한외, 신재 건축재료학, 문운당, pp. 458-460
2. 伊部 博外, 鐵筋コンクリートの構造物 劣化對策技術,1995, テクノシステム, pp.486-531
3. 岸谷孝一外, 中性化(コンクリート構造物の耐久性シリーズ), 技報堂出版, pp.41-63
4. 和泉, 構造物の 耐久性設計手法例, 鐵筋の かぶり厚さの信賴性設計手法, コンクリート工學, Vol.26, No.11, Nov. 1988, pp.38-42
5. 송병창외, 전국 주요지역의 공기중 염분량 측정, 철근콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 심포지움, 대한건축학회, 1995
6. 권영진외, 해사사용으로 인한 콘크리트 구조물의 성능저하에 대한 무기질계 보수공법의 활용기술, 레미콘, 1996.1, pp.48-59
7. 권영진외, 중성화 및 염해를 입은 콘크리트 구조물의 보수시공기술, 한국콘크리트학회 춘계학술발표회논문집, 1996
8. 建設大臣官房技術調査室, 「建築物の耐久性向上技術シリーズ, 建築構造編Ⅰ, 鐵筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術」技報堂出版, 1986, pp. 134-143, 180-181

콘크리트학회 전문서적 보급안내

시멘트 · 콘크리트의 품질시험 및 품질관리

- A4 · (수정판)
- 보급가 : 회 원 20,000, 비회원 22,000원
- 집필진 : 최광규, 임창덕, 김무한, 한천구, 오병환, 윤재환, 정 란, 박승범, 최계식

철근콘크리트 건물의 배근설계 —제6회 기술강좌 교재—

- 집필진 : 김상식, 최기봉, 김중구, 윤호기, 김긍환, 이동우, 윤영호, 양지수, 류영섭
- A4 · 436面
- 보급가 : 회 원 20,000원 비회원 22,000원(우송시 송료 2,100원 별도부담)