

실리케이트계열의 표면침투보강제를 이용한 열화방지기술개발

Development of the Preventing Aging Technology Using Silicate Type Penetration Reinforcing Agent

김도겸*

조명석**

송영철***

류금성****

Kim, Do Gyeum Cho, Myeng Suk Song, Young Chul Ryu, Gum Sung

ABSTRACT

The most serious cause of deterioration in the concrete structures is reinforcing corrosion due to the chloride attack and carbonation. Therefore, it is needed to protect durability and performance according to the appropriate materials and methods in the concrete structures. In general, several types of polymer and silicate are used as protecting deterioration agents of concrete structures, but these agents have many problems because of low durability and properties.

The object of this study is to develop a preventing aging technology. The work involves the development of silicate type penetration reinforcing agent.

1. 서론

콘크리트는 재료적 특성상 강재와 같이 내부 조직이 치밀하지 않고 많은 공극이 포함된 다공질성 재료로서, 주요 열화인자들이 콘크리트 표면으로부터 공극을 통해 침투한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 다공질의 콘크리트를 강화시킴으로써 콘크리트 구조물의 열화 보호기능 뿐만이 아니라 내구성을 향상시킬 수 있는 실리케이트와 모노머합성 열화억제제를 개발하고자 하였다. 콘크리트 구조물을 열화(Aging) 요인으로부터 보호하는 일반적인 방법으로는 무기계 또는 유기계의 표면보호제를 콘크리트 표면에 도포하는 방법이 있다. 이때 표면보호제로 사용되는 재료 중 유기계는 조강성의 성질을 가지고 있으나, 습윤면 접촉불량, 장기 접착성 및 내후성이 떨어진다는 단점이 있다. 또한 무기계는 내구성은 우수하나, 양생기간이 길어 건조수축 균열의 발생이 우려되고 공기가 상대적으로 긴 단점이 있다. 본 연구의 표면침투보강제는 콘크리트 표면에 도포하여 콘크리트의 조직을 강화시킴으로써 수분, 염소이온, CO₂ 가스 등의 열화 물질을 억제하고 방수성능을 부여하는 성능개선제이다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원, 공학박사

** 정회원, 한전전력연구원 환경구조연구소 선임연구원

*** 정회원, 한전전력연구원 환경구조연구소 수석연구원, 공학박사

**** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

2. 실리케이트 계열의 표면침투보강제 개발

2.1 개발과정

표면침투보강제의 개발과정은 <그림 1>과 같다. 표면침투보강제는 콘크리트 내부에 깊숙이 침투하여 구체강화효과 및 열화억제성능을 향상시킬 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 ① 환경친화적일 것 ② 콘크리트로의 침투가 용이하게 하기 위하여 저점도일 것 ③ 상온에서 반응하여 유·무기 복합체를 형성 단단한 성질과 유연한 성질 보유할 것 ④ 내구성과 내후성이 우수할 것 ⑤ 내부 철근의 부식을 막기 위해 콘크리트 자체의 pH를 유지할 것 등의 기본 설계개념을 설계개념을 설정하였다. 이러한 기본 설계개념하에서 용액 축합중합 방법으로 합성한 6종의 합성물질에 대한 기초성능 및 콘크리트 적용성능을 평가하였다. 콘크리트 표면침투보강제의 구성 물질을 선정하기 위해 합성물질의 기초성능 평가 및 콘크리트 적용성 평가를 실시한 결과, 낮은 점도와 표면장력을 지니고 있고 구체강화 및 수밀성 등의 효과를 나타내는 에톡시기를 지닌 모노머와 실리케이트의 합성물질과 Tea계열과 실리케이트의 합성물질이 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 콘크리트내부에서 각 물질간의 결합메커니즘을 고려했을 경우에도 최적의 구체강화효과 및 열화억제성능을 나타낼 것으로 판단된다.

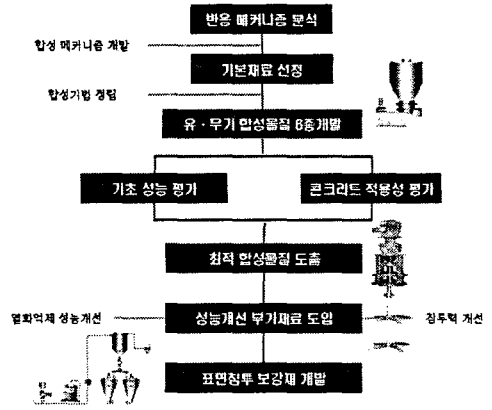


그림 1. 개발과정

2.2 반응메커니즘 분석

본 연구에서는 열화억제제의 구체강화효과를 위해 실리케이트 화합물의 졸-겔 반응(sol-gel reaction)을 도입하였다. 졸-겔 반응은 지난 수년간 IT분야(반도체, 항공우주, 전자 등)에서 상당한 효과를 거둔 것으로, 화학적 반응 메커니즘은 실리콘이나 금속 알콕사이드 단위 전구체(monomer precursor)로부터 다양한 종류의 무기질 망상 조직(network)을 만드는 것이다.⁴⁾

2.3 구성물질 개요

표면침투보강제의 구성물질 중 구체강화물질은 에톡시 또는 메톡시기를 함유하는 실리케이트계열의 무기물질과 OH 관능기를 갖는 모노머의 합성물질로써 콘크리트의 내구성능을 향상시키고 열화억제성능을 증대하며, 가동중인 전력구조물 콘크리트의 열화 발생시 손상된 콘크리트 주위를 파쇄하지 않고 표면에 도포하는 것만으로도 콘크리트 구조물에 깊숙히 빠르게 침투되어 가수분해에 의한 미세한 졸-겔을 형성시켜, 미세한 공극을 채워주어 콘크리트 구조물의 표면 및 내부 깊숙히 중성화를 방지하고 콘크리트 구체를 강화하며, 철근매입깊이까지 강도가 향상된 차단막을 형성하므로써 염화물 또는 이산화탄소(CO₂) 같은

표 1. 구성물질 설계개요

구성 물질	역 할
에톡시모노머-실리케이트 합성물질	· 실리케이트의 가교결합에 의한 콘크리트 구체강화효과 · 에톡시모노머 합성에 따른 충격완화부형성에 의해 충격흡수성능 및 균열억제성능 발휘
Tea계-실리케이트 합성물질	· 콘크리트의 이온활성화작용 촉진에 의한 철근부식억제효과 · Tea와 실리케이트의 공조작용에 의한 열화저항성능 발휘
ISi	· 열화억제성능의 향상 · 발수성능에 따른 수분 및 염화물 침투억제
Al	· 점도 및 표면장력을 낮추어주고 유화제의 역할을 담당 · 경화반응조절 및 침투력 향상

유해물질로부터 콘크리트 구조물을 보호함과 동시에 균열의 보수성으로 콘크리트 구조물을 일체화시킬 수 있는 매우 뛰어난 효과가 있는 것으로 판단된다.

3. 물리/화학적 성능 평가

3.1 평가개요

표면침투보강제의 물리·화학적 특성을 분석하기 위하여 표 2와 같은 특성평가 시험을 실시하였다. 공시체는 w/c변화에 따른 침투깊이의 특성을 분석하기 위하여 4종의 배합에 대하여 실시하였으며, 기타의 분석실험은 w/c비 0.5의 배합에 대하여 실시하였다.

표 2. 물리·화학적특성 평가 항목

평가항목	시험방법
점도	KS M 3705
표면장력	Du Nouy 장력계 시험방법
침투깊이	KS F 4930
구체강화효과	KS F 2405
수화생성물분석	X-선회절분석
수화조직분석	전자현미경법(SEM)

3.2 평가결과

점도시험은 KS M 3705의 단일원통 회전점도계에 의한 방법에 준하여 실시하였다. 본 시험에 사용한 기기는 브룩필드 엔지니어링사에서 제작한 브룩필드 점도계(Brookfield viscometer DV-II+)로서 스피들(spindle)을 표시선 까지 시료 안에 넣어, 스피들이 시료 안에서 일정하게 회전하는 데 걸리는 토크(torque)를 이용하여 이에 대한 저항 값으로서 점도를 측정한다. 실험결과, 표면침투보강제의 점도는 25cp로 분석되었으며, 매우 낮은 점도 특성으로 인하여 콘크리트로의 침투가 원활할 것으로 판단된다.

액체의 표면장력을 측정하는 방법들은 모세관 상승법, 방울 무게법, 링법, 기포 압력법이 있으며 본 시험에서는 콘크리트 표면강화물질의 표면장력을 검토하기 위해 링법에 기초를 둔 Du Nouy 장력계를 사용하였다. 실험결과, 표면침투보강제의 표면장력은 28dyne/cm으로 낮은 표면장력을 지니고 있어 콘크리트로의 원활한 침투가 이루어질 것으로 판단된다.

표면침투보강제의 침투깊이는 KS F 4930에 준하여 실시하였다. 침투깊이는 콘크리트의 w/c변화(강도변화)에 따라 변화하는 특성을 지니고 있으므로 본 연구에서는 4종의 콘크리트를 제작하여 1ℓ/m³의 양이 되도록 표면침투보강제를 도포한 후 침투깊이를 측정하였으며, 이 중 w/c비 0.50의 배합에 대하여 1ℓ/m³의 침투보강제를 도포하면서 도포량에 따른 침투깊이를 측정하였다.

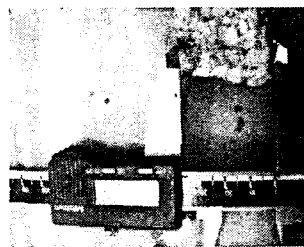


그림 2. 침투깊이

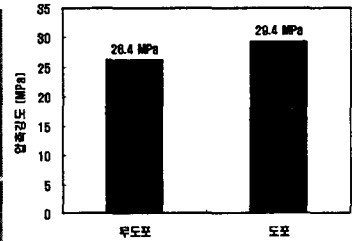


그림 3. 구체강화효과

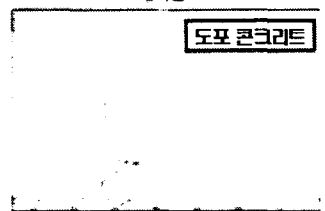
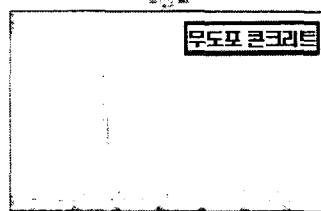


그림 3 x-선 회절분석

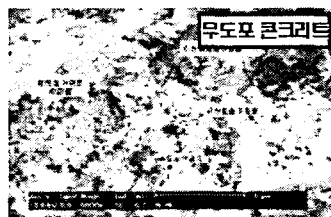


그림 5 전자현미경 분석

실험결과, w/c비 0.3의 경우에는 침투깊이가 10.54mm이었으며 w/c비가 증가함에 따라 침투깊이가 증대되는 경향을 보여 w/c비가 0.6인 경우에는 20.89mm의 침투깊이를 보였다.

또한, 도포횟수에 따른 침투깊이는 도포횟수가 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하는 현상을 보였으나, 최대 침투깊이는 37mm인 것으로 분석되었다.

콘크리트의 구체강화효과는 $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체에 콘크리트 표면침투보강제를 도포하여 3일간 온도 23°C의 실내에서 기건양생(온도 23%, 상대습도 55%)한 다음에 압축강도 시험을 실시하여, 표면침투보강제를 도포한 콘크리트와 도포하지 않은 콘크리트를 비교함으로써 이루어졌다. 분석 결과 무도포 콘크리트의 압축강도는 26.4MPa로 나타난 반면, 도포 콘크리트의 압축강도는 29.4MPa로 나타나 11.4%(3MPa)의 구체강화 효과를 나타냈다. 이러한 결과는 표면침투보강제가 콘크리트 내부에 침투하여 미세공극을 채움으로써 콘크리트 조직이 치밀해져 압축강도가 증진된 것으로 판단된다.

무도포 콘크리트 및 표면침투보강제 도포 콘크리트에 대한 수화생성물 및 광물을 분석하기 위하여 X-선 회절분석을 실시하였다. 분석결과, 표면침투보강제를 도포한 콘크리트의 경우에는 표면침투보강제와 콘크리트의 결합생성물로 추정되는 Torbermorite($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; C-S-H gel) 및 Orthoclase($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)가 관찰되어, 표면침투보강제가 콘크리트와 화학적으로 강력한 결합을 이루고 있음을 나타내고 있다.

전자현미경은 광학현미경의 광선 대신에 전자빔[電子線], 광학렌즈 대신에 전자렌즈를 사용하여 형광면 위에 물체의 확대상을 결상(結像)시켜 관찰하는 현미경으로 콘크리트의 수화조직과 같은 미세구조를 촬영하는데 매우 유용하다. 분석은 표면침투보강제의 도포유무에 따라 실시하였다. 분석결과 그림에서와 같이 표면침투보강제를 도포하지 않은 공시체의 경우 수화물사이로 많은 공극이 존재하고 있고 콘크리트의 수화반응에 의해 형성되는 공극은 10nm~100 μm 의 범위에 있으며, 모세관 공극은 3nm~2 μm 의 범위에 나타났으며, 관찰되는 수화물은 에트링가이트($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), 규산칼슘수화물($x\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$) 및 수산화칼슘수화물($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) 등으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 실리케이트의 합성을 통하여 콘크리트 구조물의 열화방지성능 및 열화가 발생한 구조물의 내구성능 회복 기능을 겸비할 수 있는 표면침투보강제를 개발하고 이를 이용한 열화방지기술을 개발하고자 한 연구로써, 본 연구를 통하여 실리케이트와 모노머를 용액중축합합성에 의한 합성물질이 구체강화효과가 높고, 견고한 수화물을 형성하는 것을 발견하였다. 향후의 연구에서는 실존구조물에 대한 적용성을 분석함으로써 표면침투보강제를 적용한 성능개선시스템을 구축할 예정이다.

참고문헌

1. Zongjin, L. et. al., "The microstructure and sulfate resistance mechanism of high-performace concrete containing CNI, Cement and Concrete Compsite Vo. 22, 2000.
2. NTIS, "Low cost bridge deck surface treatment", 1984.
3. Bjegovic, D. and Ukrainczyk, V., "Compatibility of repair mortars with migrating corrosion inhibiting admixtures", National association of corrosion engineers, 1997.
4. Andrade, C. and Alonso, C., Preliminary testing of $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$ as a curative corrosion inhibitor for steel reinforcement in concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 22, 1992.