

# 실리케이트와 모노머합성을 통한 콘크리트 열화억제제 개발

## Development of Deterioration Restraining Agent Using Polycondensed Silicate and Monomers

김도겸\*      조명석\*\*      송영철\*\*\*      광주호\*\*\*\*      류금성\*\*\*\*\*  
Kim, Do Gyeum   Cho, Myeng Suk   Song, Young Chul   Kwak, Ju Ho   Ryu, Gum Sung

### ABSTRACT

Concrete structures have been damaged by salt, carbonization, freezing and thawing and the others. 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.

In this study, It developed the deterioration restraining agent using polycondensed silicate and monomer that can block a deterioration cause such as CO<sub>2</sub> gas, salt and water from the outside and enhance waterproofing ability by reinforcing the concrete surface when applying it to concrete structures. Also, it developed the systems for improving concrete performance using a deterioration restraining agent.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물을 구성하는 콘크리트 부재는 설계 및 시공상의 품질오차, 환경의 변화, 하중조건의 변화 등에 의해 구조물의 기능이 저하된다. 철근콘크리트 구조물에서 균열의 발생은 피할 수 없는 것으로 인식되며, 일단 균열이 발생한 철근콘크리트 구조물은 균열을 통해 외부 이물질의 침투가 더욱 활발히 진행되어 구조물의 노후화가 가속화된다. 즉, 철근콘크리트 구조물의 미세균열을 통하여 침입한 이산화탄소 및 수분, 염화물 등이 콘크리트의 성능저하는 물론 철근의 부식을 촉진시켜 구조물의 성능을 점진적으로 저하시키게 되며, 구조물에 대한 적절한 유지관리를 실시하지 않을 경우 장기적으로 누적된 손상에 의해 구조물의 안전성에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서, 구조물에 대한 주기적인 점검을 실시하여 구조물의 성능이 설계 허용치 이하로 저하되기 전에 구조물의 성능을 원상태와 동등 이상으로 회복시켜야 하는 노력 및 기술이 필요하다.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 한전전력연구원 환경구조연구소 선임연구원

\*\*\* 정회원, 한전전력연구원 환경구조연구소 수석연구원, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 객원연구원, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

콘크리트 구조물의 열화대책 수립시에 고려되어야 할 중요한 관점은 콘크리트의 재료적 특성상 내부조직이 치밀하지 않고 많은 공극이 포함된 다공성 재료라는 것으로 이산화탄소, 염화물 및 수분 등의 침투가 용이하다는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 다공질의 콘크리트를 강화시킴으로써 콘크리트 구조물의 열화 보호기능 뿐만이 아니라 내구성을 향상시킬 수 있는 실리케이트와 모노머합성 열화억제제를 개발하고자 한다.

## 2. 요소기술구축

### 2.1 관련기술의 변천

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. 이러한 표면보호제들에 대하여는 ACI Committee 515<sup>1)</sup>에 기본적인 사항이 언급되어 있으나, Metha(1993)등의 연구결과<sup>2)</sup>에 의하면 단순 도포된 표면보호제는 고성능 콘크리트에 대한 대책으로는 적절하지 못한 것으로 알려져 있다. 또한, S/B LMC는 1978년 미국 Pennsylvania에 있는 교량에 약 2인치 두께를 시공한 이래로 여러 구조물들에 대해서 적용되고 있으나, 장기내구성능 미흡 및 비용이 높고 공사기간이 긴 단점을 지니고 있다.<sup>3)</sup> 또한, 유기계 표면보호제는 초기접착력 및 내약품성 등이 우수하지만 장기 내구성이 취약하고, 통기성이 거의 없어 표면보호제의 박리현상이 빈번히 발생할 뿐만 아니라 콘크리트와의 탄성계수 및 수축팽창률의 차이로 인해 시간이 경과함에 따라 콘크리트 층과의 박리 및 들뜸 현상을 발생시키는 단점을 가지고 있다.

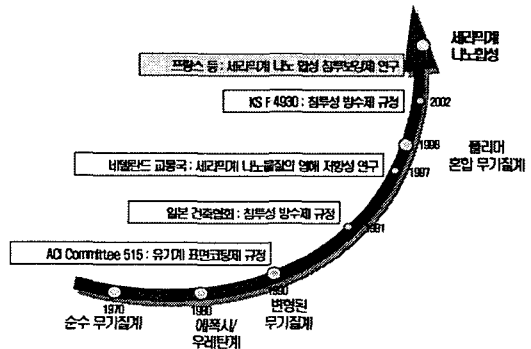


그림 1. 표면침투보강제 관련 기술의 변천

### 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.<sup>4)</sup>

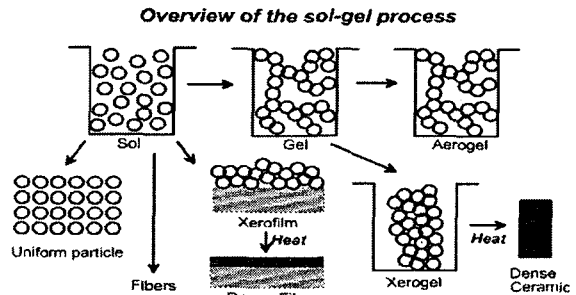


그림 2. 실리케이트 화합물의 졸-겔 반응

### 2.3 합성기법 구축

본 연구에서는 열화억제제를 개발하기 위하여 기본합성재료로써 무기계열의 물질과 유기계열의 물질을 선정하여 용액중합합성방법에 의해 합성을 실시하였으며, 성능개선부가재료로써 열화억제성능을 부여하는 물질과 침투력을 개선하는 물질을 선정하였다. 그림 3은 개발에 사용된 재료의 선정 및 개발과정을 나타낸 것이다.

실리케이트와 모노머의 합성 메커니즘은

- (1) 낮은 분자량의 저점도 물질인 실리케이트는 에폭시그룹의 유기물과 반응성이 높음
- (2) 나노입자 크기(약 5nm)의 실리케이트와 유기물질의 모노머를 고온, 고압의 환경 하에서 용액중합합성을 통하여 유·무기합성물질을 생성함
- (3) 유·무기 합성물질은 구체강화효과는 실리케이트계열에서 담당을 하고, 충격흡수 및 열화억제성능은 모노머계열에서 담당하므로써 콘크리트와의 결합력을 향상시키고 장기내구성능을 향상시키는 것이다.

## 3. 열화억제제 개발

### 3.1 실리케이트와 모노머의 합성물질 개발

본 연구의 목표인 열화억제제의 개발을 위해 기본적인 합성물질을 무기계열물질인 실리케이트와 유기물질에 적정량의 반응제 및 반응촉매를 사용하여 적정온도 및 적정기압에서 용액 중합중합반응에 의하여 개발하였다. 무기물질의 경우에는 실리케이트 계열의 물질을 사용하였으며, 그 특징은 열 및 산화에 안정적이므로 외부의 온도변화 등에 대한 저항성을 지니고 있고, 표면장력이 낮아 침투력이 좋으므로, 콘크리트내부에 쉽게 침투가 가능하며, 기체투과성이 양호하므로 콘크리트 내부의 수증기가 쉽게 발산할 수 있어 수증기압에 의한 보호층의 파괴를 억제하고, 흡수방지성이 양호하므로 구조물 외부에서 침입하는 수분 등의 침투를 억제할 수 있다. 또한, 유기물질은 에폭시기를 지닌 모노머를 사용하여 충격흡수층 형성에 의해 계절변화 등의 원인에 의한 열팽창 및 수축 등을 완화시키고 외부의 충격을 완화시키는 역할을 부여하였으며, 무기물질인 실리케이트와 합성하므로써 실리케이트의 결합력 증대에 기여하는 목적과 유기물질이므로 콘크리트 구조물의 열화방지성능을 향상시키는 특성을 기대하였다.

### 3.2 합성물질의 성능평가

#### 3.2.1 시험개요

합성물질의 콘크리트 적용성을 평가하기 위하여 구체강화효과, 흡수율, 염화물 차단성능 및 중성화

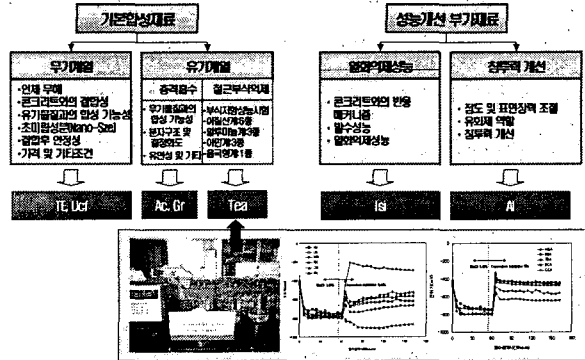


그림 5. 합성 개요도

표 1. 실리케이트와 모노머 합성물질 개요

분류명	구성 물질		기대 성능
	유기물질	무기물질	
AcTe-1	Ac	Silicate(TE)	구체강화, 열화억제, 충격흡수
AcTe-2	Ac	Silicate(TE)	구체강화, 열화억제, 충격흡수
TeaTe	Tea	Silicate(TE)	구체강화, 철근부식억제
GrTe	Gr	Silicate(TE)	구체강화, 충격흡수
AcUcf	Ac	Silicate(Ucf)	구체강화, 열화억제, 충격흡수
TeaUcf	Tea	Silicate(Ucf)	구체강화, 철근부식억제

억제성을 측정하였으며, 콘크리트 강도 24MPa 및 35MPa인 콘크리트를 제조하였다. 배합조건은 굵은골재의 최대치수를 15mm로 하고, 목표슬럼프를 10cm, 목표 공기량을 4.5±1.5%로 하였다.

### 3.2.2 시험결과

구체강화효과는 KS F 2405의 압축강도시험에 의해 합성물질을 도포한 콘크리트의 강도증가율을 분석하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다. 또한, 흡수율 시험은 KS F 4930에 준하여 실시하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다. 투수성 시험은 GWT 독일식 가압시험방법에 준하여 실시하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다. 투기성 시험은 Permeability Test로 실시하였으며, 그 결과는 그림 7과 같다. 염화물 차단성능 시험은 합성물질 별 염화물 차단성능을 염화물 침지시험을 통하여 이온전극법을 이용한 일본 K사 제품의 AG-100을 이용하여 측정하였으며, 그 결과는 그림 8과 같다. 또한, 중성화 억제성능 시험은 중성화 촉진시험장치를 이용하여 페놀프탈레인법으로 측정하였으며, 그 결과는 그림 9와 같다.

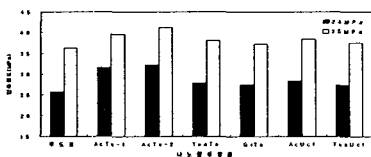


그림 4. 압축강도 증진 효과

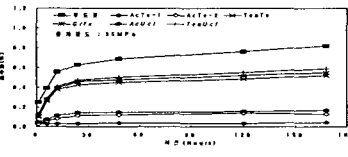


그림 5. 흡수율시험

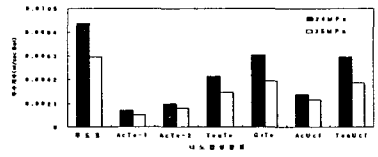


그림 6. 투수계수시험

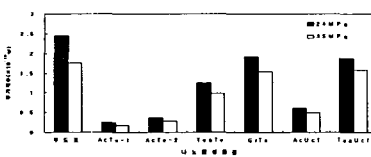


그림 7. 투기계수시험

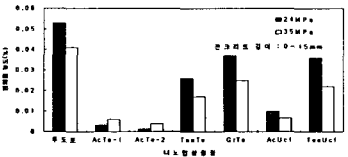


그림 8. 염화물 농도 시험결과(91일)

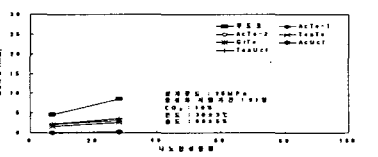


그림 9. 중성화 시험결과

## 4. 결론

본 연구는 무기물질인 실리케이트와 유기물질인 모노머의 합성을 통하여 콘크리트 구조물의 열화방지 성능 및 열화가 발생한 구조물의 내구성능 회복 기능을 겸비할 수 있는 열화억제제를 개발하고자 한 연구로서, 본 연구를 통하여 실리케이트와 모노머의 용액중축합합성에 의한 합성물질이 콘크리트에 적용력이 뛰어난 것을 발견하였으며, 열화억제성능의 부여 등을 통하여 콘크리트 구조물의 사용 환경 및 구조특성에 적합한 열화억제제를 개발하였다. 향후 연구에서는 개발된 열화억제제를 이용한 체계적인 적용시스템을 구축함으로써 선진화된 구조물 성능개선기술을 확보하고자 한다.

### 참고문헌

1. ACI Committee 515, "A Guide to the Use of Waterproofing, Dampproofing, Protective, and Decorative Barrier System for Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, 1995
2. ACI Committee 546, "Concrete Repair Guide", ACI Manual of Concrete Practice, 1997
3. J.G. Cabrera et al., "Performance Properties of Concrete Repair Materials", Construction and Building Materials, Vol.11, No.5-6, pp. 283~290, 1997
4. Kim Sang Young et al., "A Kinetic Study on the Hydrolysis and condensation of TEOS in the Basic Condition by Sol-Gel Method", J. of KICE, Vol. 32, No. 4, pp. 557~565, 2001