

01

# 소듐실리케이트계 나노실리카의 해양콘크리트 적용기술

Application of Sodium Silicate Based Nano-silica for Marine Concrete

**강석표** Kang, Suk Pyo  
우석대학교  
건축·인테리어디자인학과 교수

**조성현** Sung-Hyun Cho  
한일시멘트(주) 테크니컬센터  
책임연구원

**김경민** Kyoung-Min Kim  
(주)대우건설 기술연구원  
기술개발팀 선임연구원

## 1. 머리말

최근 들어 나노소재는 매우 다양하고 전통적 재료와의 잠재적 상호작용과 자체 고유 특성의 폭이 넓어 거의 모든 시장에서 응용이 가능하다. 이미 나노소재는 건강 및 전자분야 시장에서 주목할 만한 역할을 하고 있으며, 약 십여 년 후 나노소재의 상업적 위치는 더욱 높아질 것으로 기대된다. 나노소재의 상업적 위치는 선진국뿐만 아니라 제조업이 활성화되고 있는 중국, 브라질, 인도, 러시아 및 동부유럽의 EU 가입국들에서도 이러한 추세는 가속화될 전망이다.

미래 건설시장에서도 첨단 소재공학의 개념으로 나노기술(Nano Technology)이 도입되고 있는 추세이며, 특히 나노재료는 기존 물질보다 뛰어난 미래의 신소재로 각광받고 있다. 최근 건설분야도 이에 발맞추어 나노소재를 건설재료, 계축, 보수, 보강 등의 다양한 분야에 적용하는 연구가 점차 진행되고 있다. 이러한 나노기술의 연구에도 불구하고 건설분야의 건설재료 부분에서는 경제적인 측면 때문에 상업화가 어려운 실정이다. 따라서 나노기술을 접목시키는 시멘트 콘크리트 분야에서 고성능·고기능의 개발뿐만 아니라 경제적 측면도 고려한 연구를 병행해야 할 것으로 보인다.

본 고에서는 나노기술이 뛰어난 기계적, 전기적, 열적, 화학적 특성을 보유하여 전자정보산업, 대체에너지분야 및 복합소재분야에서 활발히 활용되고 있지만 아직까지 건설 산업분야에서는 경제적 측면의 문제로 인하여 제한적인 현재시점에서 제조원가를 낮추기 위한 노력으로 기존 에탈실리케이트 대신에 소듐실리케이트로부터 나노실리카를 제조하여 건설산업현장에 적용된 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 건설분야에서의 나노기술 활용범위 및 시장전망

### 2.1 나노기술 활용범위

나노기술은 콘크리트의 공극구조의 치밀화 측면에서는 기존의 슬래그, 플라이애시 등을 이용하여 재료간 공극의 치밀화를 추구해왔으며, 이보다 더욱 작은 입자로 실리카 폼, 폴리머 등을 사용함으로써 콘크리트의 강도 및 기타 물성을 향상시켜 주었다. 이러한 원리로 콘크리트에 나노화된 입자를 사용하게 되면, 현존하는 고강도 콘크리트의 공

극구조를 완전히 바꿀 수 있으며, 입자측면의 세립화만이 아닌 주재료의 나노공정을 통한 제조를 통해 성능을 극대화 할 수 있는 가능성이 있다.

시멘트의 나노화는 기존 시멘트 입자의 1/60 ~ 1/100의 미세입자를 특수한 분쇄설비 및 분쇄조제를 이용해 제조하는 것으로 알코올 계통의 분쇄조제를 이용 330 nm(0.33 μm)까지 시멘트 입자를 미립화하여 고강도 콘크리트에 사용하는 목적으로 진행된 연구사례를 찾아 볼 수 있다. 나노기술을 이용해 콘크리트 내에 기능을 부여한 연구사례는 나노기술과 건설재료가 가장 잘 접목된 분야로 시멘트계 및 기능성 재료(보수, 피복, 도색) 등의 복합재료로 폭넓게 사용되고 있다.

## 2.2 나노기술 시장전망

나노소재는 잠재적 응용 및 시장 범위 면에서 2021년까지 거의 전 세계에 걸쳐 건강 및 전자 시장분야에서 매우 중요한 영역으로 자리매김하게 될 것이다. 특히, 선진국과 제조산업을 보유한 나라에서 이러한 경향이 클 것으로 예상된다. 건설분야에서 사용되는 나노소재의 수요는 2016년에 2억 달러로 2011년 6천만 달러에 비해 3배 이상 증가할 것으로 예상되며, 전체 분야에 응용되는 나노소재 중 2001년에는 2.9%, 2006년에는 3.7%, 2011년에는 3%를 차지하였고, 2016년에는 3.6%, 2021년에는 7%를 차지하면서 그 비중도 높아질 전망이다<sup>1)</sup>.

## 3. 소듐실리케이트계 나노실리카 해양콘크리트

### 3.1 소듐실리케이트계 나노실리카

#### 3.1.1 개요

나노기술을 이용한 나노실리카는 건설시장에서의 고성능 고기능화를 실현할 수 있는 첨단기술 적용의 예로 앞으로 건설시장에서의 큰 역할이 기대된다. 하지만 기존 에틸실리케이트로부터 제조되어진 나노실리카는 현재 통용되고 있는 건설재료와 비교했을 때 성능, 품질이 우수하나 경제적 측면의 문제로 건설시장에 접목하는데 한계를 보이고 있다. 따라서 나노실리카의 우수한 성능을 활용하면서도 경제성을 고려하

기 위하여 소듐실리케이트로부터 보다 저렴하게 나노실리카를 제조해 건설현장에 실제적으로 적용될 수 있도록 하였다<sup>2)</sup>.

#### 3.1.2 소듐실리케이트 나노실리카 합성

규산나트륨 또는 물유리라 불리는 소듐실리케이트는 이산화규소와 알칼리를 용해하여 얻은 규산알칼리염을 진한 수용액으로 제조한 것으로 소듐실리케이트의 알칼리 성분은 대체로 Na<sub>2</sub>O이고, 조성은 Na<sub>2</sub>O · nSiO<sub>2</sub>(n = 2 ~ 4) 외에 미량의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 되어 있으며, 수분은 10 ~ 30% 정도이다. 소듐실리케이트계 나노실리카 합성공정은 <그림 1>과 같으며, 나노실리카의 입자는 <사진 1>과 같이 구형이다. 입도의 경

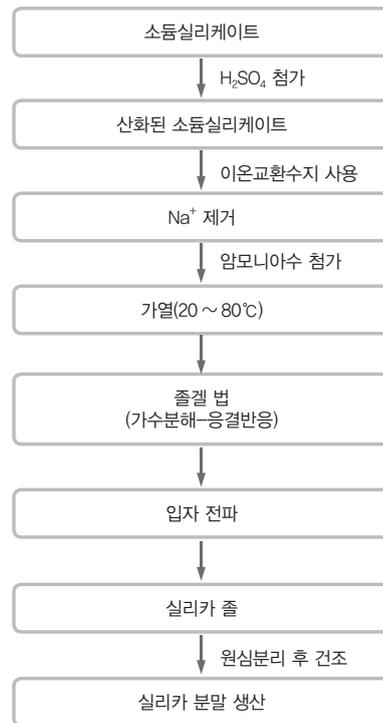
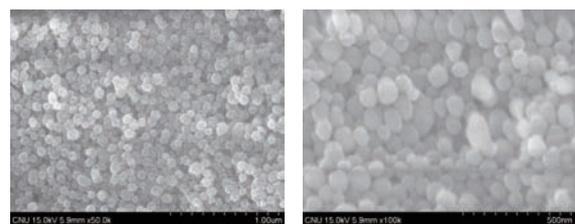


그림 1. 소듐실리케이트계 나노실리카 합성공정



(a) ×50k SEM (b) ×100k SEM

사진 1. 소듐실리케이트계 나노실리카의 SEM

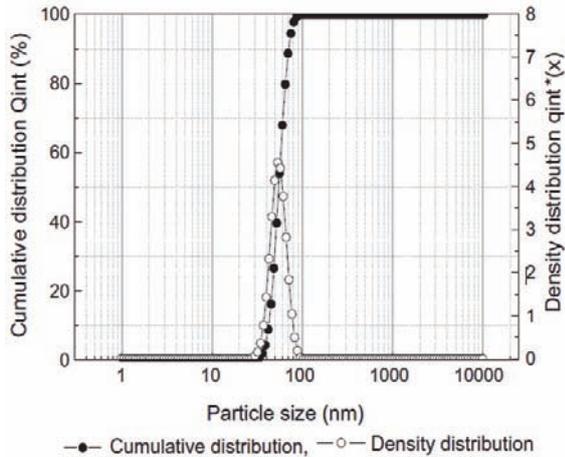


그림 2. 나노실리카의 입자크기 및 밀도분포

우 소듐실리케이트계 나노실리카는 <그림 2>와 같이 10 ~ 100 nm의 분포를 갖는 것으로 분석된다.

보통 포틀랜드 시멘트와 나노실리카가 배합된 시멘트 페이스트의 수화반응을 1일, 3일 재령에서 SEM 분석하였으며, 그 결과를 <사진 2>에 나타내었다. 보통 포틀랜드 시멘트는 1일에 에트리נג가이트와 포틀랜드아이트, C-S-H가 나타났으며, 3일에는 더욱 발달된 C-S-H가 나타났다. 나노실리카가 배합된 시멘트 페이스트의 재령 1일에서는 포졸란의 C-S-H가 관찰되었고, 3일에는 보통 포틀랜드 시멘트와 마찬가지로 더욱 발달되었다. 나노실리카 혼입 페이스트 나노크기의 입자로 인해 수화반응속도가 빨라짐에 따라 응결 및 경화속도가 촉진되는 효과를 얻을 수 있으며, 콘크리트 내부의 공극을 메움으로써 치밀화, 고성능, 고강도가 가능한 기술이다.

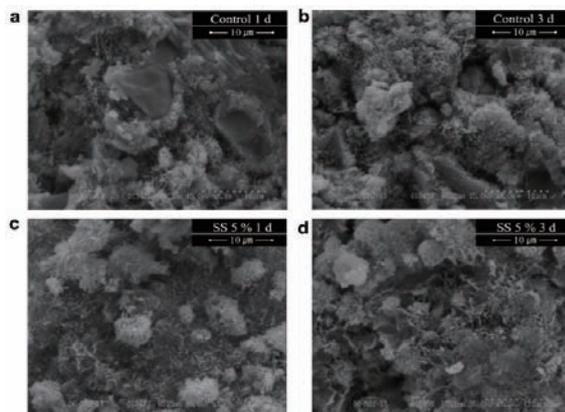


사진 2. 나노실리카가 배합된 모르타르의 수화반응

### 3.1.3 소듐실리케이트계 나노실리카 혼입 모르타르의 압축강도

모르타르의 압축강도는 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 압축강도가 3일 19 MPa, 7일 28 MPa, 28일 35 MPa로 나타났으며, 나노실리카를 5% 첨가한 경우 3일 강도는 10 MPa 이상 향상되었고, 10%를 첨가하였을 때에도 압축강도가 전체적으로 향상되었다. 따라서 소듐실리케이트계 나노실리카를 첨가함으로써 모든 재령에서 압축강도가 향상되는 것으로 나타났으며, 특히 초기강도에서는 높은 향상을 보였다<sup>3)</sup>.

### 3.1.4 나노실리카 혼입 해양시멘트

나노실리카와 산업부산물을 사용한 수화열 저감형 친환경 해양시멘트 개발 프로세스는 다음과 같다.

- ① 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 다량 활용하여 콘크리트의 수화열 저감 및 내구성을 향상시킨 최적 배합비 도출
- ② 다량의 광물질 혼화재를 사용할 경우 초기강도가 낮고 강도발현이 느린 문제점을 나노실리카를 사용하여 보완
- ③ 연속입도를 통한 유동성 향상 및 균질성 있는 친환경 해양시멘트를 제조하기 위하여 분체 전용 혼합설비를 이용한 최적의 혼합시간 및 방법 도출

친환경 해양시멘트는 콘크리트의 수화열 저감 및 방식성능을 향상시킬 수 있으며, 시멘트 사용량 저감으로 친환경적이다.

### 3.1.5 나노실리카 혼입 해양콘크리트 철근부식 평가

#### ① 실험개요

염해에 직접적으로 노출되는 해양콘크리트 구조물에서는 일반 콘크리트에서 요구하는 물리적 특성 뿐만 아니라 복합적 염해에 대한 내구성이 중요한 평가지표가 된다. 이러한 나노실리카 혼입 해양콘크리트와 고로슬래그 시멘트를 대상으로 해양시멘트를 사용한 콘크리트의 철근부식 면적률을 검토하였다.

#### ② 실험결과

인공해수 촉진열화시험에 의한 콘크리트 내부 철근

의 부식량 측정을 위해 KS F 2599-2의 규정에 준하여 시험을 실시하고, 건조 및 습윤 1회를 1사이클(7일)로 하여 40사이클의 철근부식량을 측정된 결과를 <그림 3>에 나타내었다. 고로슬래그 시멘트의 경우 평균 5.71%인 반면 나노실리카 혼입 해양시멘트는 전혀 부식이 일어나지 않았다. 또한 복합열화 촉진시험에 의한 콘크리트 내부 철근의 부식량 측정을 위해 KS F 2712의 규정에 준하여 시험을 실시하고, 건조 및 습윤 1회를 1사이클로 하여 270사이클의 철근 부식량을 측정된 결과를 <그림 4>에 나타내었다. 고로슬래그 시멘트의 경우 평균 7.53%인 반면 나노실리카 혼입 해양시멘트는 평균 0.3%로 우수한 성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

오토클레이브에 의한 촉진열화[시험장치조건(180℃, 1MPa, 8시간유지), 염수침지조건(3% NaCl 용액에 24시간 침지)]에 의한 철근의 부식면적률을 측정된 결과를 <그림 5>에 나타내었으며, 고로슬래그 시멘트의 경우 철근 부식면적률이 평균 9.15%인 반면 나노실리

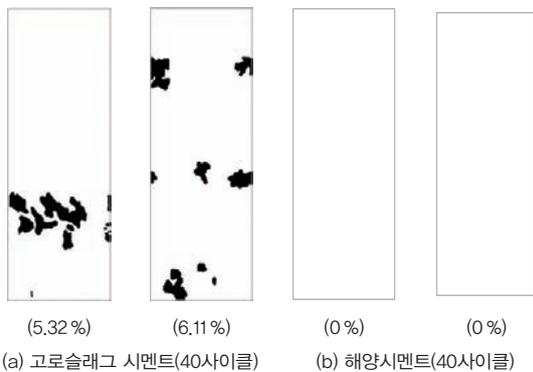


그림 3. 인공해수 촉진열화시험에 의한 철근 부식면적률

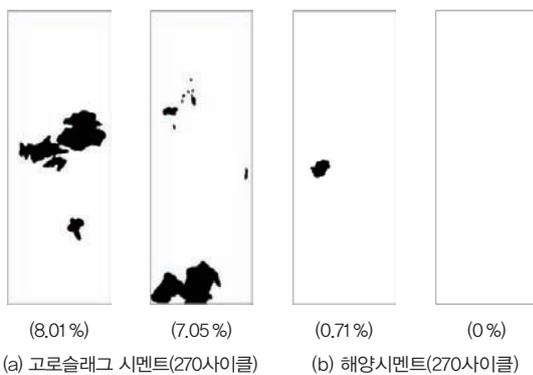


그림 4. 복합열화시험에 의한 철근 부식면적률

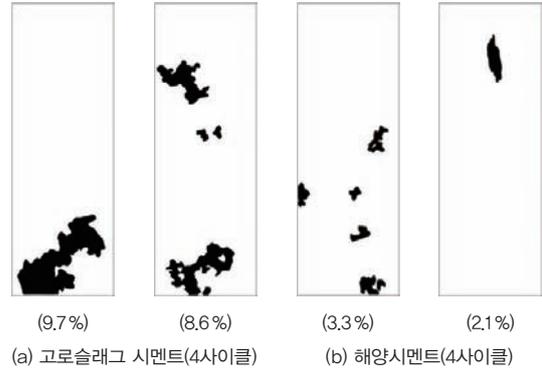


그림 5. 오토클레이브 촉진시험에 의한 철근 부식면적률

카 혼입 해양시멘트는 2.7%로 철근 부식면적률이 현저히 낮은 것으로 나타났다<sup>4)</sup>.

#### 4. 맺음말

차세대 성장동력인 나노기술은 그 응용분야가 다양하며 미래 산업 구조의 변화를 주도할 첨단기술이다. 이러한 나노기술은 앞으로 건설산업구조에서도 응용되리라 판단되지만 경제적인 문제로 인해 건설 산업현장에 적용되기가 어려운 실정이다.

본 고에서는 나노실리카의 우수한 성능을 활용하면서도 경제성을 고려하기 위하여 기존 고가의 에틸실리케이트 대신 소듐실리케이트로부터 보다 저렴하게 나노실리카를 제조한 후 시멘트에 혼합하여 해양콘크리트로서 건설산업현장에 실제적으로 적용된 사례를 소개하였다. 나노기술을 활용한 건설기술은 미래의 자원 에너지문제 및 고도정보화에 대응한 건설 구조물의 고성능화·고기능화의 새로운 건설시장을 개척할 수 있는 발판이 될 것이다. 더불어 나노기술과 같은 첨단기술의 연구를 경제적인 문제까지 고려해 현실성 있게 연구개발하려는 노력이 추가된다면 건설분야에서 그동안 한계로 남아있는 문제점을 해결해 나갈 수 있는 계기가 될 것으로 사료된다. □

담당 편집위원 : 이한승(한양대학교) ercleehs@hanyang.ac.kr

참고문헌

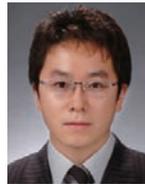
1. 유선희, 건설분야에서 나노융합 소재의 응용 및 시장 전망, KISTI MARKET REPORT, Vol. 4, Issue 1. pp. 12 ~ 15.
2. Kyoung-Min Kim, Young-Sun Heo, Suk-Pyo Kang, Jun Lee, Effect of sodium silicate-and ethyl silicate-based nano-silica on pore structure of cement composites, Cement & Concrete Composites 49, 2014, pp. 84 ~ 91.
3. 이준, 조구영, 서정필, 백병교, 강석표, 조성현, 복합 나노실리카를 이용한 시멘트 복합체의 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 2010년도 봄 학술대회 논문집, 2010, pp. 377 ~ 378.
4. 김경민, 조성현, 백병교, 유무기 하이브리드 나노실리카 및 산업부산물을 이용한 해양콘크리트 제조 및 공법 소개(국토해양부 신기술 제639호), 한국건설순환자원학회지, 2011. 12, pp. 44 ~ 49.



**강석표** 교수는 충남대학교 건축공학과에서 박사학위를 취득하였으며, 2008년부터 우석대학교 건축·인테리어디자인학과 교수로 재직하고 있다. 주 관심 연구 분야는 콘크리트 구조물의 내구성 평가 및 예측과 산업부산물의 자원화 기술, 에너지절감 기술과 같은 지속가능한 자원순환형 건설기술 등이 있다.  
ksp0404@empal.com



**조성현** 책임연구원은 충남대학교 건축공학과에서 박사학위를 취득한 후 2006년부터 한일시멘트(주) 테크니컬센터에서 근무하고 있다. 주 관심분야는 공기단축 관련한 조기강도 콘크리트 및 속경(속건) 모르타르와 내구성능에 관한 해양콘크리트 등이 있다.  
csh8902@hanil.com



**김경민** 선임연구원은 청주대학교에서 고강도콘크리트의 내화성능 향상에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 (주)대우건설 기술연구원에서 근무하고 있다. 주 관심 연구 분야는 시멘트 결합재 개발, 보수/보강 재료이며, 우리 학회 레미콘품질관리위원회, 보수보강위원회 등에서 활동하고 있다.  
kyoungmin.kim@daewooenc.com

학회지광고 게재 안내

콘크리트학회지는 격월간으로 발행되어 9,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 귀사의 미래를 위한 광고가 저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 활용될 수 있도록 광고를 모집합니다.

1. 광고게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표 2	80만원	간지	70만원
표 3	70만원	내지(전면)	50만원
표 4	100만원	박스 광고	30만원

2. 할인혜택 : 본 학회의 특별회원이거나 게재하는 광고 또는 연간 6회 이상 게재 시 상기 협찬금을 아래와 같이 할인하여 드립니다. 단, 일시불로 납부하여야 적용 가능합니다.

- 1년 계약 : 10% 할인     2년 계약 : 20% 할인     회원사 : 추가 5% 할인